ELETRÔNICA EMBARCADA 2

Curso Técnico
© SENAI - PR, 2003

CÓDIGO DE CATÁLOGO : 0010XA0106202

Elaboração Técnica Joacir Gomes
Revisão Técnica Joacir Gomes

Equipe de editoração

Coordenação Márcia Donegá Ferreira Leandro
Diagramação Sandra Schulz Caron
Ilustração Sandra Schulz Caron
Capa Ricardo Mueller de Oliveira

Ficha Catalográfica
NIT - Núcleo de Informação Tecnológica
Diretoria de Tecnologia SENAI - DR/PR

S474m SENAI. PR
Eletrônica embarcada 2 / SENAI. PR. -- Curitiba, 2003.

124 p.

1. Eletrônica embarcada.
I. Título.

CDU: 629.3.06

Direitos reservados ao
SENAI — Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Departamento Regional do Paraná
Avenida Cândido de Abreu, 200 - Centro Cívico
Telefone: (41) 350-7000
Telefax: (41) 350-7101
E-mail: senaidr@pr.senai.br
CEP 80530-902 — Curitiba - PR

SUMÁRIO

Eletro-eletrônica básica 05
Resistores e potenciômetros 19
Introdução aos semi-condutores 23
Diodo semicondutor 34
Transistores 55
Transformadores 63
Retificação de meia onda 78
Retificação de onda completa com diodos semicondutores 83
Capacitores 93
Filtros 95
Circuitos Integrados / Mémorias eletrônicas 97
Montagem de circuitos elementares 124

ELETRO-ELETRÔNICA BÁSICA

LEI DE OHM

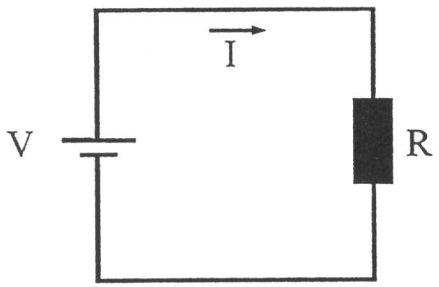
Um Circuito Elétrico simples consiste de uma resistência conectada a uma diferença de tensão por intermédio de condutores.

O resistor pode ser uma lâmpada ou qualquer outro tipo de elemento que tenha resistência. O fornecedor de tensão pode ser uma bateria ou um gerador e os condutores geralmente são fios de cobre.

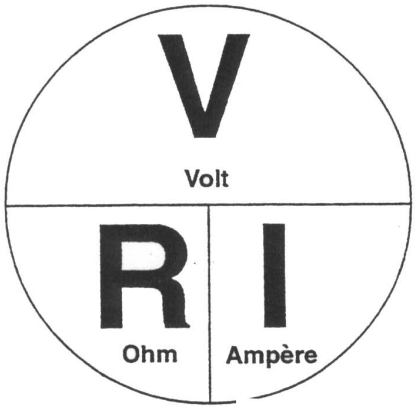
A lei de Ohm descreve a relação entre a corrente (I), a tensão (V) e a resistência (R) num circuito .

Pode ser expressa de três formas diferentes:

$$\mathbf{R} = \frac{V}{I}\ (\Omega) \qquad \mathbf{V} = R \cdot I\ (V) \qquad \mathbf{I} = \frac{V}{R}\ (A)$$



Sempre que dois fatores forem conhecidos, o terceiro fator, desconhecido, pode ser calculado pela lei de Ohm.



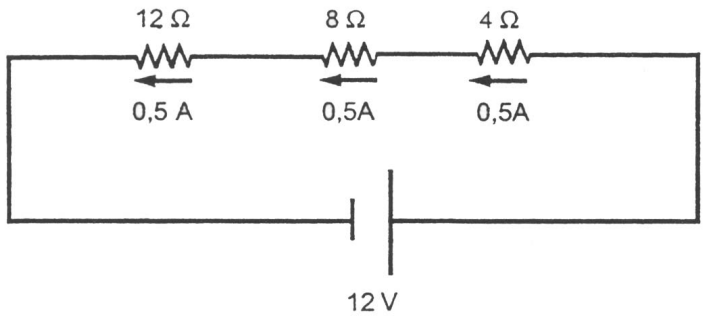
CIRCUITO EM SÉRIE, PARALELO E MISTO

Circuito Elétrico - É quando um gerador é ligado a um ou mais dispositivos, provocando o fluxo de corrente elétrica. O circuito mais simples que podemos construir consiste de uma pilha (gerador) ligada a uma lâmpada de filamento.

Os resistores são os dispositivos mais utilizados nos Circuitos Elétricos. A função básica de um resistor é diminuir a tensão elétrica de um Circuito através de sua resistência elétrica.

Resistores em Série

A figura abaixo mostra um circuito onde três resistores aparecem ligados em série.



A característica básica de uma ligação em série é que todos os componentes ligados estão submetidos a mesma corrente elétrica. Portanto, a tensão do componente varia de acordo com sua resistência.

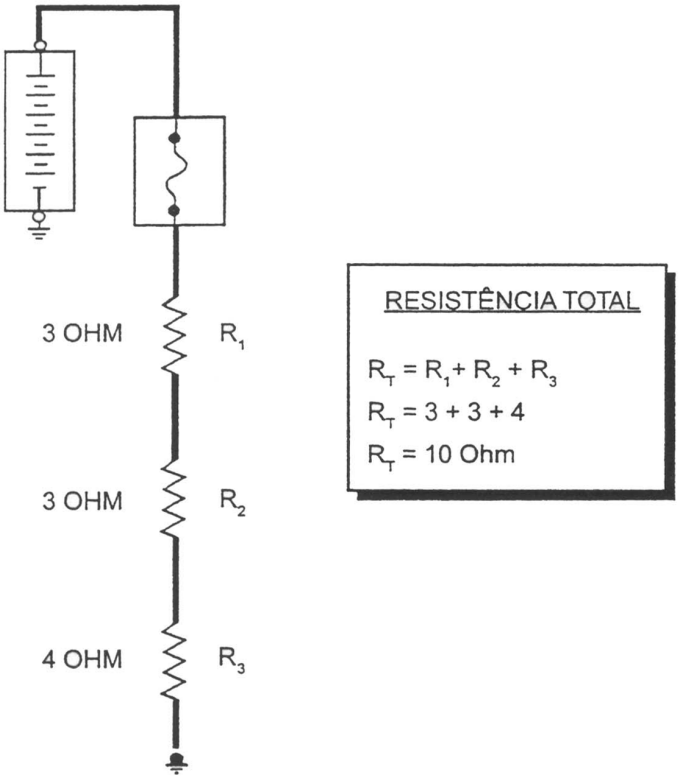
Resistência Equivalente em Série

A resistência afeta o circuito inteiro porque existe apenas um caminho a ser percorrido pela corrente.

Se for acrescentada resistência ou se uma resistência aumentar, a corrente elétrica do circuito inteiro diminuirá, desde que a tensão não mude.

O cálculo da resistência total de um circuito em série é realizado calculando-se todas as resistências individuais.

Exemplo de calculo total da resistência de um circuito em série.

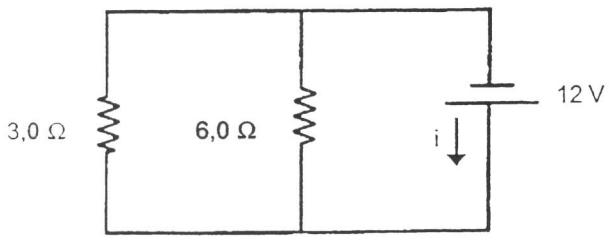


Resistores Paralelos

A figura abaixo mostra dois resistores em paralelo. A característica básica de uma ligação em paralelo é que todos os componentes estão submetidos a mesma tensão elétrica.

No caso deste circuito a tensão elétrica no dois resistores é de 12V, que é a tensão fornecida pelo gerador.

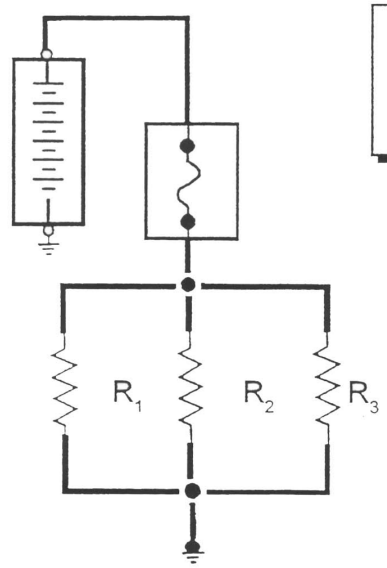
Neste caso, a corrente divide-se entre dois resistores, de acordo com seus valores.



Se não variarmos a tensão, quanto maior o valor da resistência, menor a corrente que passa por ela.

Resistência Equivalente em Paralelo

O cálculo da resistência total de um circuito em paralelo é realizado conforme a ilustração abaixo.

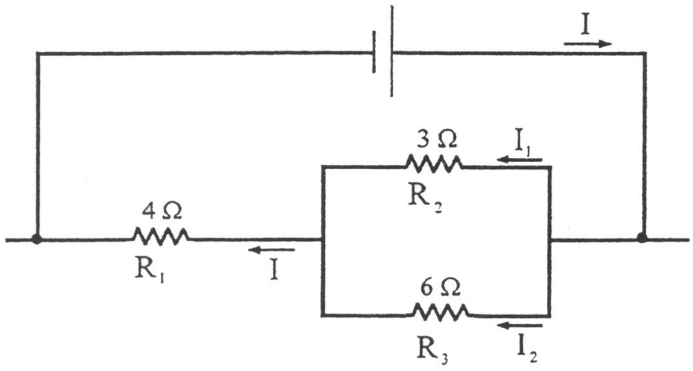


$R_1 = 5$ Ohm
$R_2 = 10$ Ohm
$R_3 = 30$ Ohm

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{30}$$
$$\frac{1}{R_T} = \frac{6}{30} + \frac{3}{30} + \frac{1}{30}$$
$$\frac{1}{R_T} = \frac{10}{30}$$
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{3}$$
$$R_T = 3 \text{ Ohm}$$

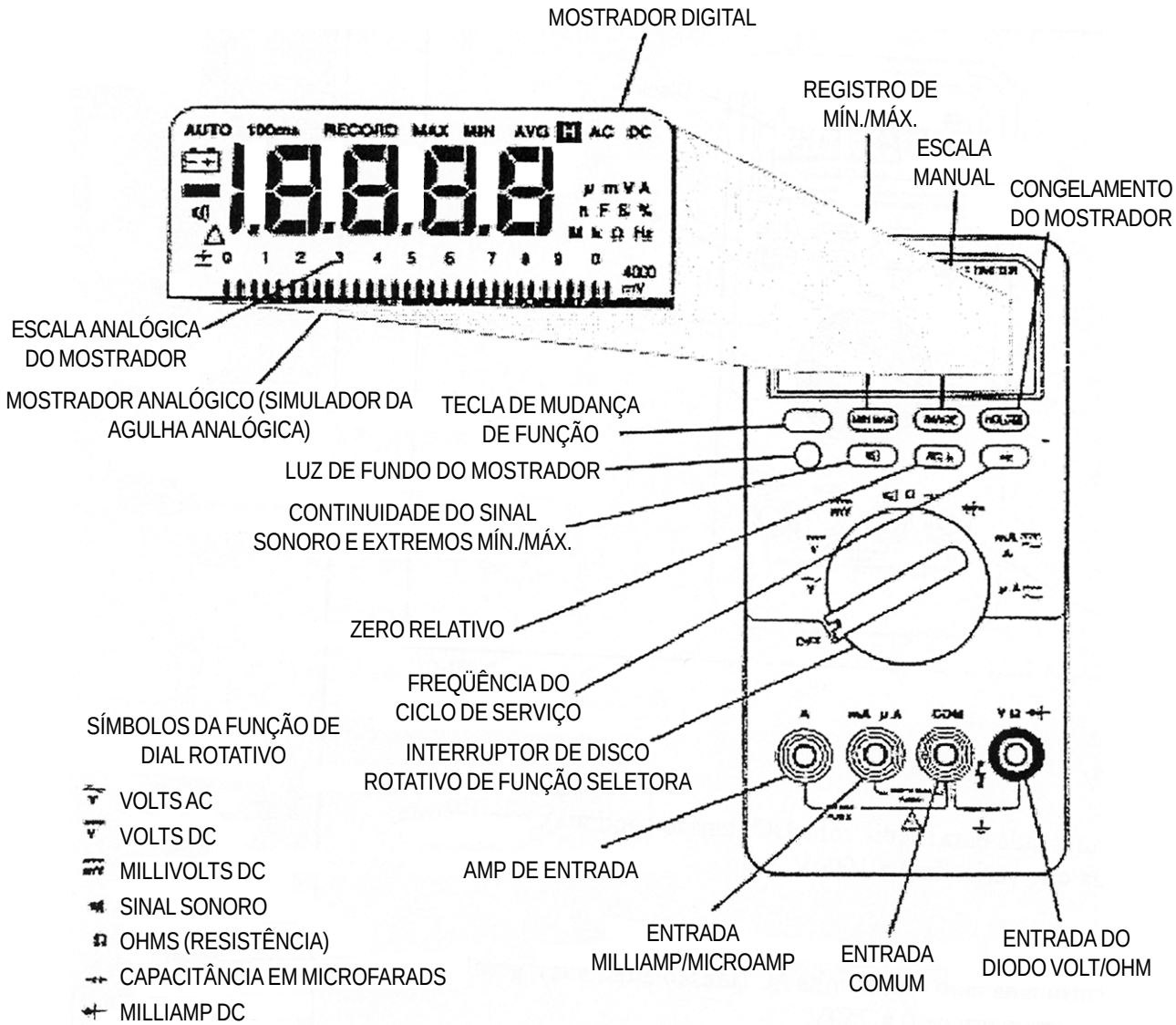
Circuitos Mistos (Série-paralelo)

Nos circuitos mistos, ou série-paralelo, sempre podemos identificar um caminho do circuito onde os resistores estão ligados em série, e outros onde os resistores estão ligados **em paralelo.**



MULTÍMETRO FLUKE

Os termos e símbolos seguintes aparecem na face do multímetro Digital Fluke 87, e são usados em sua operação. Suas funções são semelhantes a maioria dos multímetros automotivos avançados. Seus significados são explicados abaixo.



MULTÍMETRO DIGITAL FLUKE

Input Alert ™

O multímetro estala (faz soar um “click”) continuamente se o fio de teste estiver conectado às entradas mA, mA ou A do multímetro e a função mA, mA ou A não estiver selecionada.

Botão Azul

Pressione para mudar as funções de AC ~ ou DC ⎓ in µA, mA, ou A. Pressione para alterar entre as funções Ù (ohm) e ⊣⊢ (capacitância).

Hold H

Pressione Hold e o multímetro mantém automaticamente toda nova leitura: o multímetro dá um sinal eletrônico quando a leitura é estável (Touch Hold ®). Em Hz, % ciclo de atividade e MIN MAX, o multímetro pára com todas as atualizações de leitura. Pressione HOLD de novo para sair da função.

Range

O multímetro seleciona automaticamente as faixas. Pressione RANGE para seleção manual de faixas (AUTO muda para OFF no mostrador).

Quando se muda de faixa, desabilitam-se os módulos Touch Hold ®, MIN MAX < e REL (ativo). Pressione RANGE por dois segundos para retornar à seleção automática de faixas.

MIN MAX

Pressione MIN MAX para registrar as leituras máxima, mínima e média na memória.

Registra as médias verdadeiras por até 36horas.

O multímetro seleciona manualmente as faixas e emite sinais sonoros quando um novo valor mínimo ou máximo é registrado (MIN MAX Alert ™). Pressione MIN MAX para mover entre as leituras máxima, mínima, média e atual. Pressione MIN MAX por dois segundos para apagar as leituras.

Extremos MIN MAX

Pressione MIN MAX, depois))) . Os valores de transientes (>1ms) ou senoidal (<400Hz) são armazenados. Pressione MIN MAX para ver ambas as leituras. Pressione))) duas vezes para restabelecer os valores sem sair do MIN MAX.

Hz, % Duty

Pressione Hz para entrar no módulo contador de freqüência, pressione-o de novo para selecionar % do ciclo de atividade. Pressione Hz de novo para sair do módulo. Pressione))) para alterar. Para medir o ciclo de atividade de sinais lógicos, selecione 4VDC ⎓ Range.

)))

Selecione Ω e pressione))) para testes de continuidade auditíveis (o multímetro seleciona a faixa de 400Z). O limiar é -10% de cada faixa.

REL Δ

Pressione REL para zerar o mostrador e armazenar a leitura como uma referência relativa. O multímetro seleciona manualmente as faixas e dá um “zoom” (amplia no mostrador) do módulo de gráfico de barras (modelos 83 e 85).

As leituras subseqüentes são a diferença entre as leituras de referência entre as leituras de referência e a atual.

Pressione REL de novo para sair.

→|←

Mostra a queda de voltagem do diodo até 3.000 V1mA de corrente nominal em circuito fechado < 3,9 teste de voltagem em circuito fechado. Use Touch Hold ® para testes audíveis de diodo.

ù

Voltagem de escala completa <450mV para faixas de 400 Ù à 4M Ù. Voltagem de escala completa < 1,3V para 40MÙ e nS< 500µA corrente de circuito fechado.

Resistor teste

Resistor de teste com 1kÙ de precisão. Selecione Ù e conecte o fio de teste de entrada V Ù até a entrada µ A m A. O mostrador deve ser de 1.000kÙ ± 0,005.

Nanosiemens. Medida de condutância para resistência >40MÙ. Selecione Ù e a faixa manualmente até que seja mostrado o nS. Para converter a leitura em mega ohms, divida o número mostrado por 1000 (leitura de 100nS = MÙ).

Selecione Ù e pressione o botão azul. O multímetro seleciona automaticamente faixas de 5,00µF, 0,0500µF, 0,500µF ou 5,00µF Rauge.

A resposta ao acionamento das teclas diminui a capacitância.

Para capacitores < 5nF, pressione REL para zerar e entrada ou capacitância dos fios de teste.

Para capacitores > 5µF, use a escala de Ù mostrada abaixo e meça o tempo de carga do mostrador analógico de zero até escala completa (OL):

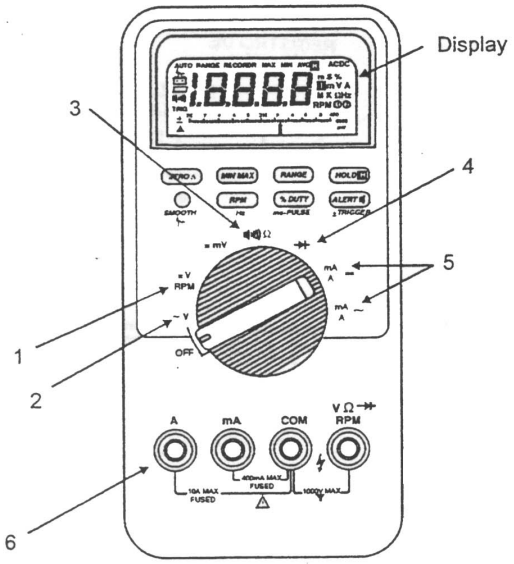
Range =	400Ù	4kÙ	400kÙ	400kÙ	4MzÙ
µF/segundos =	3000	300	30	3	0,3

Ainda existem pelo menor 8 horas de vida da bateria quando este símbolo é mostrado. 1000 V rms de proteção em ohms, teste diodo e volts. Fusível de 600V, 1A em µA e mA ; 15A fusível de 600 V em A.

Para testar fusíveis remova os fios de testes de qualquer fonte de alimentação; selecione V ⎓ ou V~. Conecte o fio de teste em uma entrada MA mA.

O multímetro dará sinais sonoros “clics” se o fusível estiver bom (input Alert ™). Mova o fio de teste para a entrada A. O multímetro dará sinais sonoros “clics” se o fusível estiver bom.

FUNÇÕES BÁSICAS DO MULTÍMETRO



1. Volts ⎓ V

Esta função é utilizada para medir volts DC (tensão contínua); geralmente tem uma escala que varia de 0 a 1000V.

2. Volts ~ V

Esta função é utilizada para medir volts AC (tensão alternada); geralmente tem uma escala que varia de 0 a 750V.

3. Ohms (Ù)

Esta função é utilizada para medir resistência elétrica; geralmente tem uma escala que varia de 0,1 a 200 MÙ e medir teste de continuidade (beep).

4. Teste de diodos

Esta função é utilizada para saber se o diodo está em perfeito estado.

5. Corrente

Esta função é utilizada para medir corrente DC (corrente Contínua) ou AC (Corrente Alternada) em Ampère; geralmente tem uma escala que varia de 0 até a máxima corrente suportada pelo equipamento.

6. Saída para as pontas de prova

- COM

A ponta de prova preta deve estar sempre conectada nesta saída.

- VΩ

Com a ponta de prova vermelha nesta saída é possível medir volts, ohms e teste de continuidade, dependendo da posição do botão seletor.

- A

A ponta de prova vermelha conectada nesta posição permite medir corrente “DC” ou “AC” de 0A até a corrente máxima medida pelo equipamento no máximo. O botão giratório deverá estar na posição de máxima corrente.

- mA

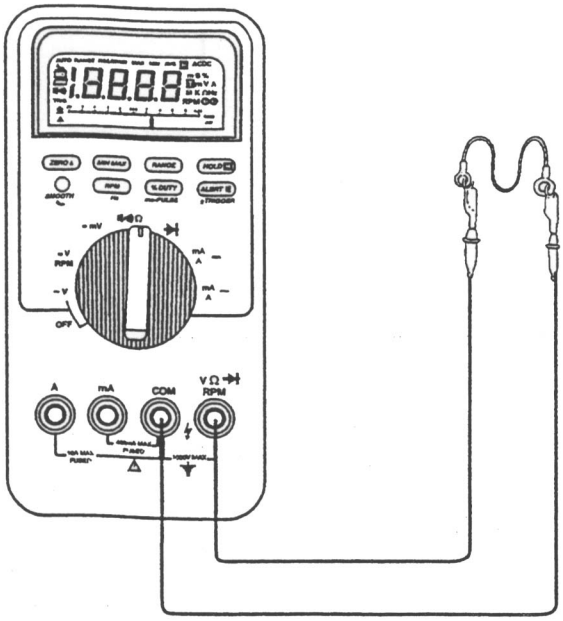
Com a ponta de prova nesta posição é possível medir mA, DC, ou AC.

O multímetro pode identificar a polaridade do circuito, basta observar o sinal de (-) que aparece no visor quando as pontas de prova estiverem invertidas.

TESTANDO CONTINUIDADE

Continuidade é um teste rápido para determinar se o circuito está aberto ou fechado.

O multímetro fará um beep quando o circuito estiver fechado ou em curto. Com este beep não é necessário você olhar para o mostrador ou fazer medições. Continuidade é normalmente utilizado para determinar fusíveis queimados, operações com interruptores e fios rompidos, curto circuito, etc.



Para medir continuidade:

1. Coloque a ponta de prova preta na saída COM do multímetro.

2. Coloque a ponta de prova vermelha na saída VW do multímetro.

3. Selecione o botão giratório para a posição mostrada acima.

4. Toque as pontas de prova entre si, para testar a continuidade dos cabos do multímetro.

5. Pressione a tecla ALERT para ouvir o “beep”.

6. Conecte as pontas de prova entre os terminais:

- Se ouvir o “beep” : O circuito está fechado ou com curto.
- Se não ouvir o “beep” : O circuito está aberto.

MEDINDO RESISTÊNCIA

1. A alimentação deve ser DESLIGADA.

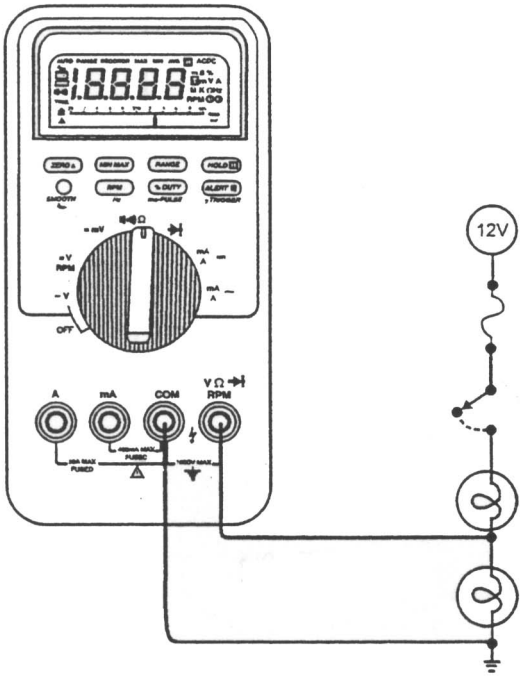
2. Coloque os cabos do medidor das entradas COM e VÙ.

3. Coloque o interruptor rotativo na posição Ù, obedecendo a escala mais apropriada.

4. Os cabos do medidor são colocados ao longo do componente.

5. Certifique-se de que seus dedos não estejam tocando nos cabos do medidor (a medição resultante incluirá a resistência do corpo).

O multímetro mede a resistência aplicando uma pequena tensão ao circuito, por isso não devemos utilizá-lo em circuitos ou componentes energizados.



O ohmímetro (parte do multímetro que mede a resistência elétrica) deve ser sempre ligado em paralelo ao componente ou circuito desligado.

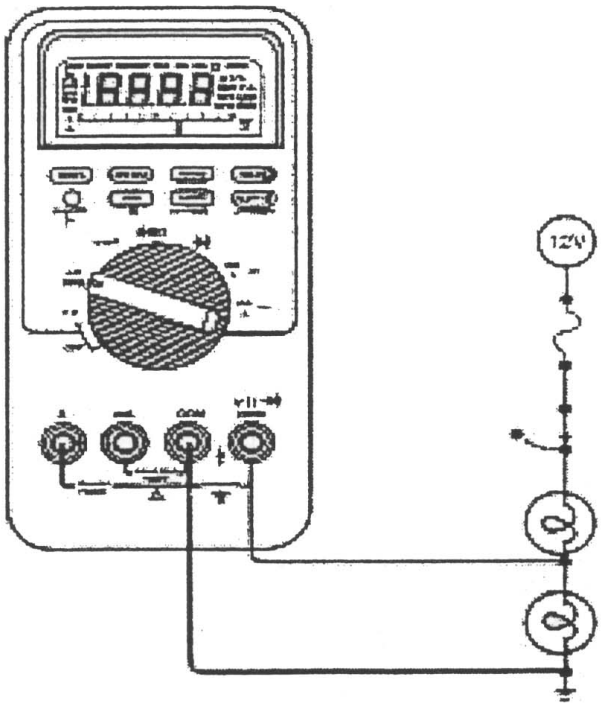
MEDINDO TENSÃO

1. Alimente o circuito.

2. Coloque os cabos de medidor nas entradas COM e V.

3. Coloque o interruptor seletor na posição ~V (AC) ou - V (DC).

4. Os cabos do medidor são colocados ao longo de um componente (queda de tensão).



O voltímetro (parte do multímetro que mede a tensão elétrica) deve ser sempre ligado em paralelo ao circuito.

MEDINDO CORRENTE

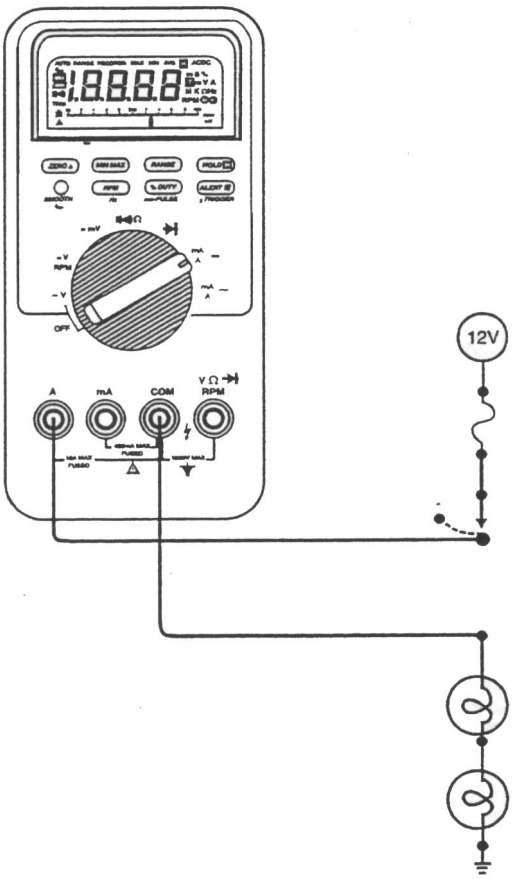
1. Coloque os cabos do medidor nas entradas A e COM.

2. Coloque o interruptor seletor na posição mA/A

3. Abra o circuito a ser analisado.

4. Coloque os cabos do medidor para completar o circuito na ruptura (a corrente deve passar através do medidor), observando a polaridade correta.

5. Alimente o circuito.



O amperímetro (parte do multímetro que mede a corrente elétrica) deve ser instalado sempre sem série ao componente ou ao circuito a ser analisado.

RESISTORES E POTENCIÔMETROS

No final dos anos 50 os transistores passaram a substituir as válvulas nos circuitos de aparelhos usados nas telecomunicações.

A principal vantagem dos transistores com relação às válvulas é o tamanho muito reduzido.

A partir da introdução desses componentes a miniaturização de circuitos torno-se um dos principais aspectos do desenvolvimento da tecnologia.

Com a miniaturização surgiu uma série de novos componentes que utilizam basicamente o movimento dos elétrons para realizar suas funções; daí o nome eletrônica dado a essa área da tecnologia.

Transistores, chips, circuitos integrados, microprocessadores e computadores são todos produtos da eletrônica moderna.

Muitos desses produtos estão sendo utilizados pela indústria automobilística. São eles que possibilitam e injeção eletrônica de combustível, a ignição eletrônica, o controle automático de funcionamento de componentes mecânicos, os freios com sistema antiderrapagem, etc.

Iniciaremos nossos estudos definindo alguns componentes dos circuitos eletrônicos: resistores, potenciômetros e capacitores.

Os resistores são componentes que oferecem oposição à passagem de corrente elétrica, aumentando a resistência elétrica de um circuito ou trecho de circuitos.

A presença de um resistor está sempre relacionada com o controle da intensidade da corrente elétrica, já que o aumento da resistência em circuito faz com que a corrente elétrica diminuída.

Resistores também podem ser utilizados para alterar a tensão elétrica (voltagem) aplicada a outros componentes do circuito. Neste caso dizemos que o resistor está provocando uma queda de tensão.

Os resistores podem ser construídos com metais, cerâmica ou película de carbono. A quantidade de resistência que um resistor oferece à passagem da corrente elétrica é medida em ohms (Ù).

Existem resistores desde 0,1 Ù até mais de 20 000 000Ù usam-se também múltiplos do ohm, como o quilohm (kÙ) que vale mil ohms, e o megohm (MÙ) que vale 1 milhão de ohms. Assim, por exemplo, um resistor de 5 KÙ, possui uma resistência de 5 000 ohms; já um resistor de 1,5 MÙ possui uma resistência de 1 500 000 Ù.

Além da resistência elétrica, os resistores são caracterizados também pela potência com que podem transferir calor para o ambiente.

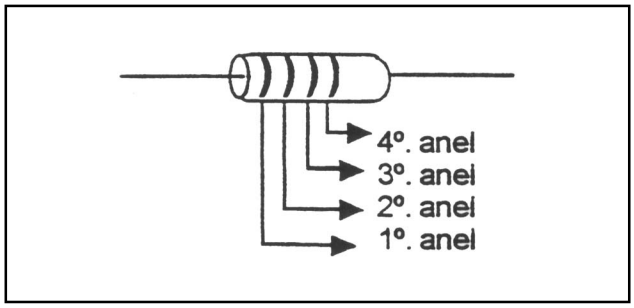
Quanto maior for o tamanho de um resistor, maior será a sua potência; ou seja, mais calor ele consegue dissipar sem ser destruído. Os menores resistores que existem possuem potência de 1/8 ou 1/4 de watt (Ù); os maiores resistores chegam a uma potência de 20 watts.

IDENTIFICAÇÃO DE UM RESISTOR

Para sabermos o valor da resistência elétrica de um resistor podemos utilizar duas formas:

Na leitura direta o valor da resistência vem anotado no próprio resistor. Por exemplo: se num resistor estiver gravado 4,7 ou 4K7, isso significa que sua resistência é de 4 700Ù; se estiver gravado 2,5M ou 2M5, isso significa uma resistência de 2 500 000Ù.

O código de cores utilizado na identificação de resistores funciona da seguinte maneira: o valor da resistência é marcada através de anéis coloridos pintados no corpo de resistor.

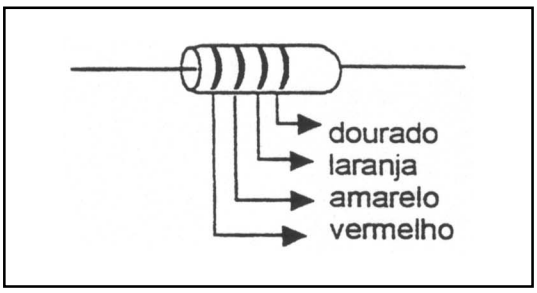


O 1º e o 2º anéis indicam 2 algarismos; o 3º anel indica um fator de multiplicação, ou seja, o número de zeros que se seguem aos 2 primeiros algarismos, e o 4º anel indica a tolerância do resistor. A tolerância correspondente à diferença entre o valor nominal (gravado no resistor) e o valor real da resistência. Quando o 4º anel não é gravado indica uma tolerância de 20%.

A tabela a seguir mostra o significado de cada anel.

COR	1º anel	2º anel	3º anel	4º anel
preto		0	x1	
marron	1	1	x10	1%
vermelho	2	2	x100	2%
laranja	3	3	x1 000	3%
amarelo	4	4	x10 000	4%
verde	5	5	x1000 000	
azul	6	6	x1 000 000	
violeta	7	7		
cinza	8	8		
branco	9	9		
prata			x0.01	10%
dourado			x0.1	5%

Vamos imaginar que temos em mãos um resistor como o da figura abaixo, como o 1º anel vermelho, o 2º anel amarelo, o 3º anel laranja e o 4º anel dourado. Qual é o valor da resistência desse componente e a sua tolerância?



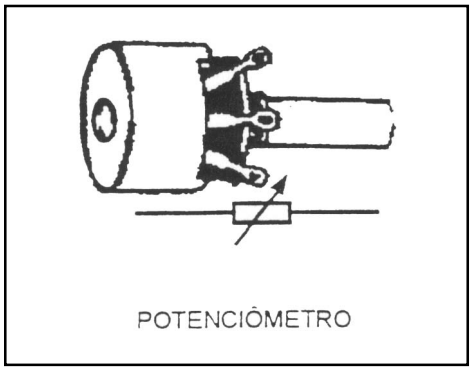
0 1º e o 2º anéis fornecem os 2 algarismos da resistência: vermelho= 2 e amarelo=4. Formamos, por enquanto, 24.

O 3º anel fornece o fator de multiplicação: Laranja x1000. Portanto, o valor da resistência é de 24x1000Ù ou 24000Ù.

O 4º anel define a tolerância: dourado= 5%. Portanto, a diferença entre o valor real do resistor e o valor marcado de 24000 ohms pode chegar até a 5% desse mesmo valor, para mais ou para menos.

POTENCIÔMETRO

Potenciômetros são resistores variáveis, isto é, nos quais o valor da resistência elétrica pode mudar. Os potenciômetros possuem uma lingüeta metálica (cujo nome é cursor) ligada a um eixo que pode movimentá-la. Dependendo da posição do cursor, o valor da resistência do potenciômetro varia.



POTENCIÔMETRO

INTRODUÇÃO AOS SEMI-CONDUTORES

MATERIAIS SEMI-CONDUTORES

São materiais que podem apresentar características de isolante ou de condutor, dependendo da forma como se apresenta a sua estrutura química.

Um exemplo típico de material semicondutor é o carbono. Dependendo da forma como os átomos do carbono se interligam, o material formado pode se tornar condutor ou isolante.

Duas formas bastante conhecidas de matéria formada por átomos de carbono são:

- O diamante

- O grafite

Diamante

Material de grande dureza que se forma pelo arranjo de átomos de carbono em forma de estrutura cristalina. É eletricamente isolante.

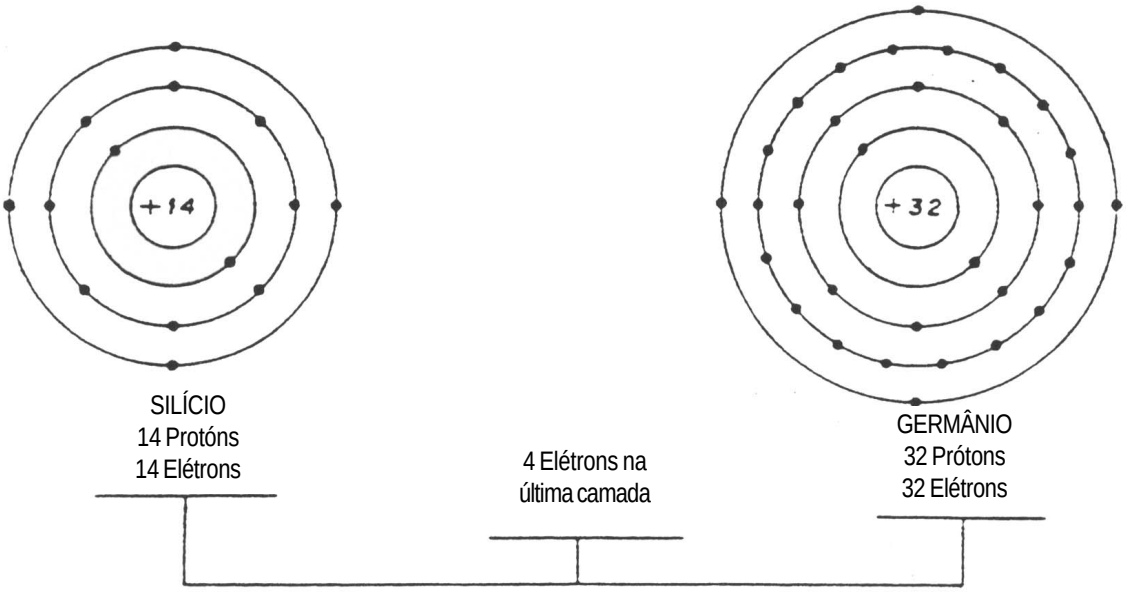
Grafite

Material que se forma pelo arranjo de átomos de carbono em forma triangular. É condutor de eletricidade.

ESTRUTURA QUÍMICA

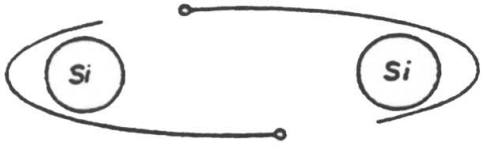
Os materiais semicondutores se caracterizam por serem constituídos de átomos que tem 4 elétrons na camada de valência (TETRAVALENTES).

A figura 1 apresenta a configuração de dois átomos que dão origem a materiais semicondutores.

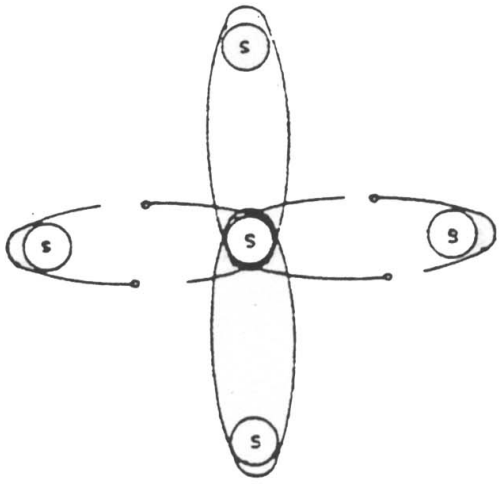


Os átomos que têm quatro elétrons na última camada têm tendência a se agruparem segundo uma formação cristalina.

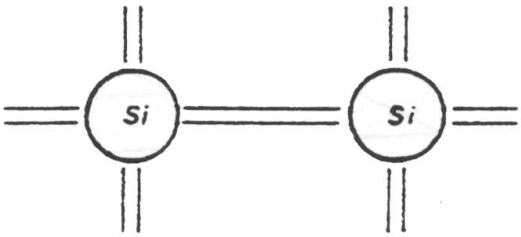
Neste tipo de ligação cada átomo se combina com quatro outros, fazendo com que cada elétrons pertença simultaneamente a dois átomos (figura abaixo).



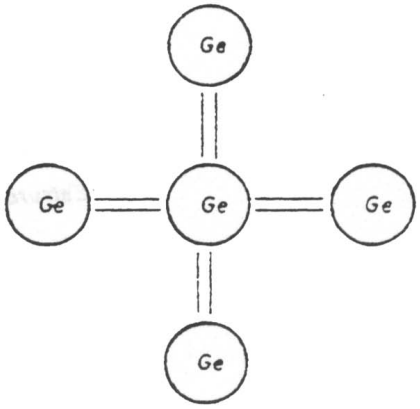
LIGAÇÃO COVALENTE



Este tipo de ligação química é denominada de ligação covalente, e é representada simbolicamente por dois traços que interligam os dois núcleos.



Quando um átomo tetravalente se associa por ligações covalentes a quatro outros a ligação é representada conforme mostra a figura abaixo.



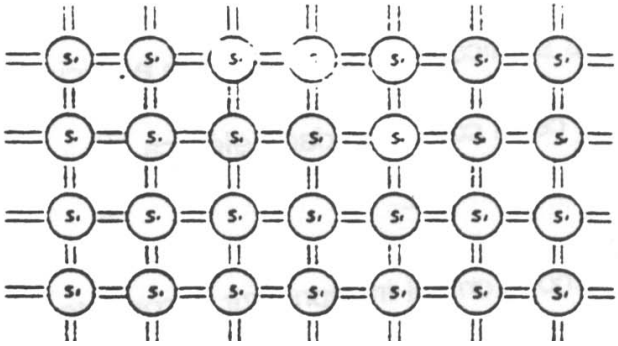
As ligações covalentes se caracterizam por manter os elétrons fortemente ligados aos dois núcleos associados.

Por esta razão as estruturas cristalinas puras, compostas unicamente por ligações covalentes, adquirem características de isolação elétrica.

As estruturas cristalinas puras de elementos tetravalentes são eletricamente isolantes.

O silício e o germânio puros são materiais semicondutores com características isolante quando agrupados em forma de cristal.

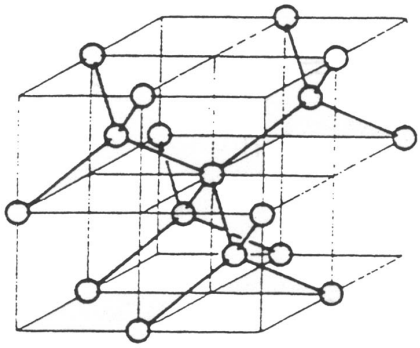
A figura a seguir mostra a configuração cristalina do silício de forma planificada.



REPRESENTAÇÃO PLANIFICADA

Observa-se que cada átomo realiza quatro ligações covalentes com os átomos vizinhos.

O aspecto real de ligações dos átomos de uma estrutura cristalina de germânio ou silício está apresentado na figura abaixo.



ESTRUTURA TETRAÉDRICA

DOPAGEM

A dopagem é um processo químico que tem por finalidade introduzir átomos estanhos a uma substância na sua estrutura cristalina.

A própria natureza executa um processo de dopagem propiciando a existência de “impurezas” na estrutura química dos cristais que se instalam durante a sua formação.

A dopagem pode também ser realizada em laboratórios, com o objetivo mais específico.

Colocar no interior da estrutura de uma quantidade correta de uma determinada impureza, para que o cristal de comporte conforme as condições necessárias em termos elétricos.

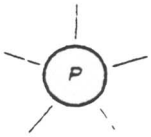
Nos cristais semicondutores (germânio e silício, principalmente) a dopagem é realizada por atribuir ao material certa condutividade elétrica.

A forma como o cristal irá conduzir a corrente elétrica e a sua condutibilidade depende do tipo de impureza utilizada e da quantidade de impureza aplicada.

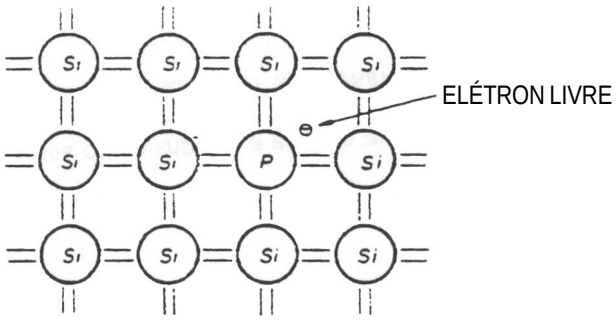
CRISTAL N

Quando o processo de dopagem introduz na estrutura cristalina uma quantidade de átomos com mais de quatro elétrons na última camada forma-se uma nova estrutura cristalina, denominada de cristal N.

Tomando-se como exemplo a introdução de átomos de fósforo que possuem cinco elétrons na última camada no cristal.



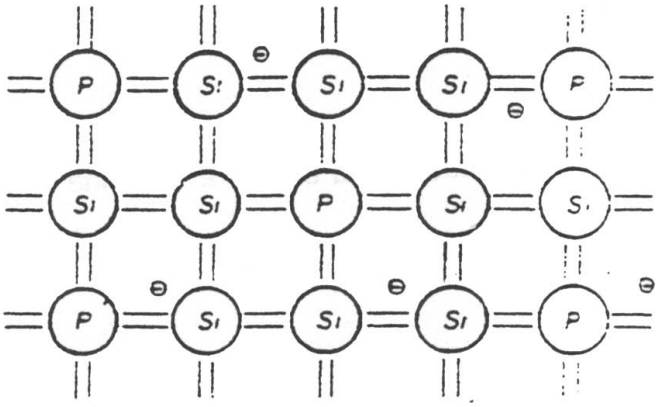
Dos cinco elétrons externos do fósforo apenas quatro encontram um par no cristal que possibilite a formação covalente.



O quinto elétron do fósforo não forma ligação covalente porque não encontra um elétron na estrutura que possibilite esta formação.

Este elétron isolado tem a característica de se libertar facilmente do átomo, passando a vagar livremente dentro de estrutura do cristal, constituindo-se portador livre de carga elétrica.

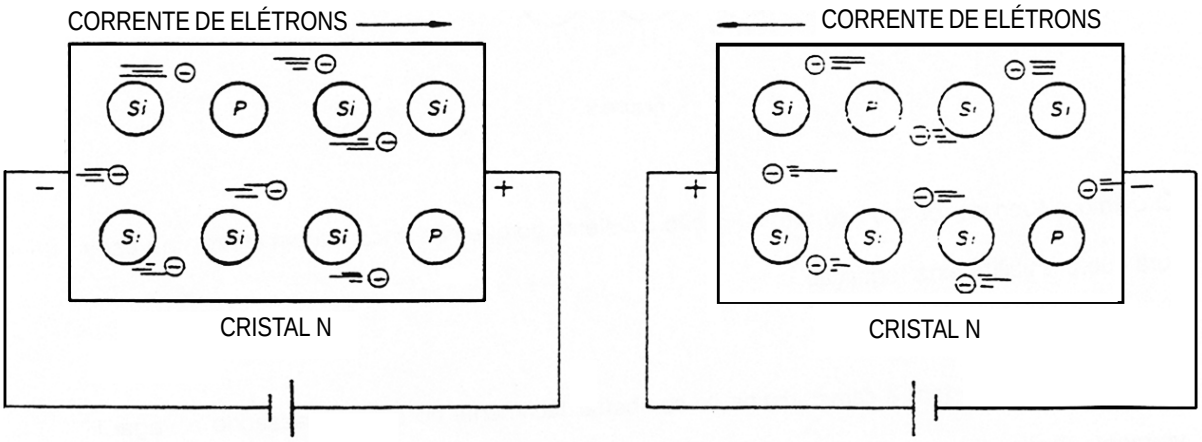
Cada átomo de impureza fornece um elétron livre da estrutura do cristal semicondutor.



Com a adição de uma determinada quantidade de impurezas o cristal que era puro e isolante passa a ser condutor de corrente elétrica, através dos portadores livres (elétrons) que podem circular na banda de condução.

É importante observar que o número total de elétrons e prótons é igual, de forma que o material continua eletricamente neutro.

O cristal semicondutor dopado com impurezas de maior número de elétrons (como o fósforo) é denominado de cristal N porque a corrente elétrica é conduzida no seu interior por cargas negativas.

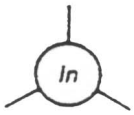


Observa-se que o cristal N conduz a corrente elétrica, independentemente da polaridade da bateria.

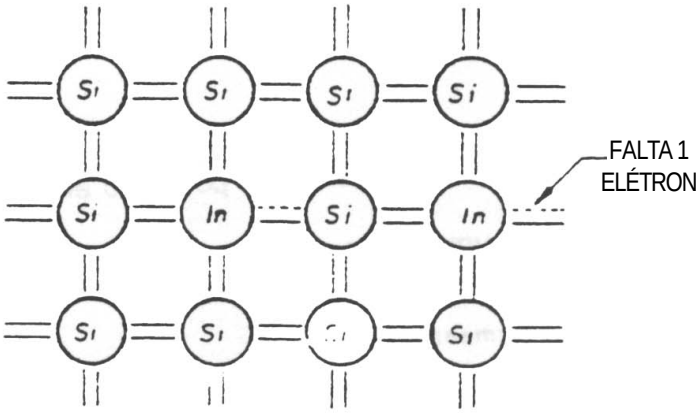
CRISTAL P

A utilização de átomos com menos de quatro elétrons na última camada para o processo de dopagem dá origem a um tipo de estrutura chamada de cristal P.

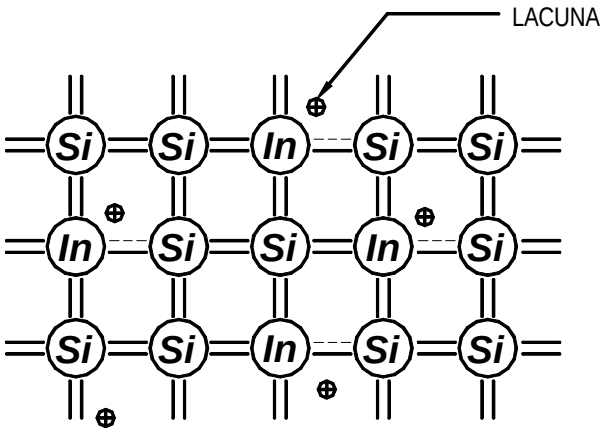
O átomo de índio, por exemplo, que tem três elétrons na última camada, dá origem a um cristal P quando é utilizado na dopagem.



Quando os átomos de índios são colocados na estrutura do cristal puro verifica-se a falta de um elétron para que os elementos tetravalentes se combinem de forma covalente.



Esta ausência no interior do cristal é denominada de lacuna, sendo representada por uma carga elétrica positiva na estrutura química.



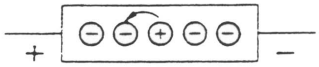
A lacuna não é propriamente uma carga positiva, mas sim, a ausência de uma carga negativa.

Os cristais dopados com átomos de menos de quatro elétrons na camada externa são denominados de cristais P porque a condução de corrente elétrica no seu interior se dá pela movimentação das lacunas.

O movimento de lacunas no cristal P pode ser facilmente observado, quando se analisa a condução de corrente passo a passo.

Quando se aplica uma diferença de potencial aos extremos de um cristal P uma lacuna é ocupada por um elétron que se movimenta deixando uma lacuna em seu lugar.

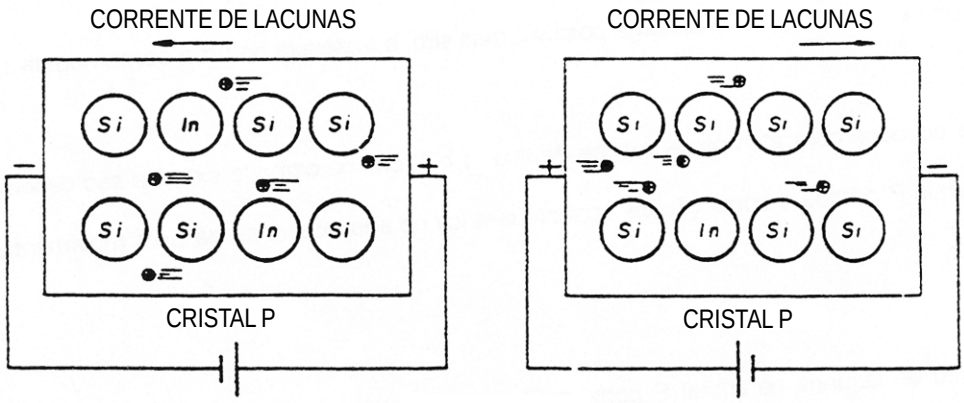
Esta lacuna é preenchida pelo elétron seguinte , que torna a criar outra lacuna atrás de si.



Assim, a lacuna será preenchida por outro elétron gerando nova lacuna, até que esta lacuna seja preenchida por um elétron proveniente da fonte.

As lacunas se movimentam na banda de valência dos átomos e os elétrons que as preenchem, na banda de condução.

A condução de corrente por lacunas no cristal P independe da polaridade da fonte de tensão.



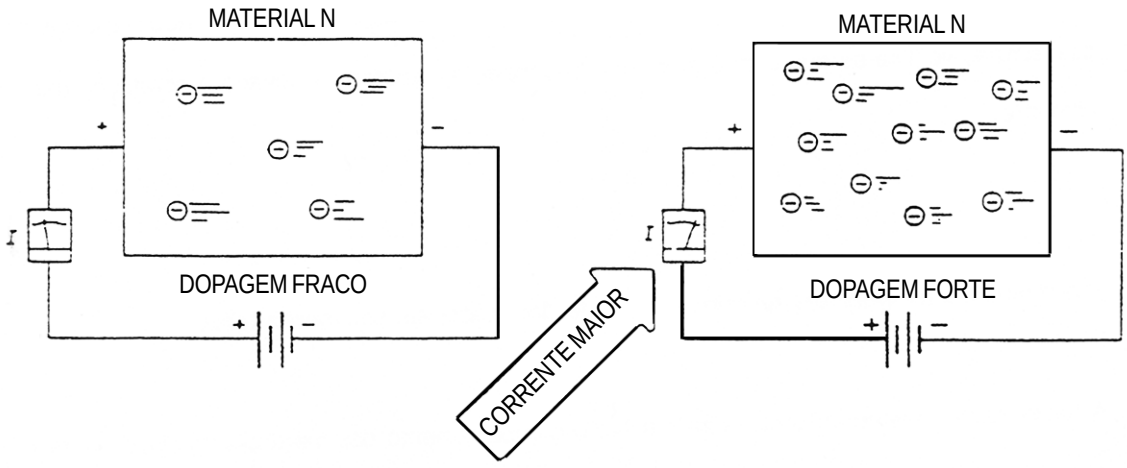
Conclui-se que os cristais P e N, isoladamente, conduzem a corrente elétrica que seja a polaridade de tensão aplicada aos seus extremos.

Os cristais P e N são a matéria-prima para fabricação dos componentes eletrônicos modernos tais como: diodos, transistores, circuitos integrados.

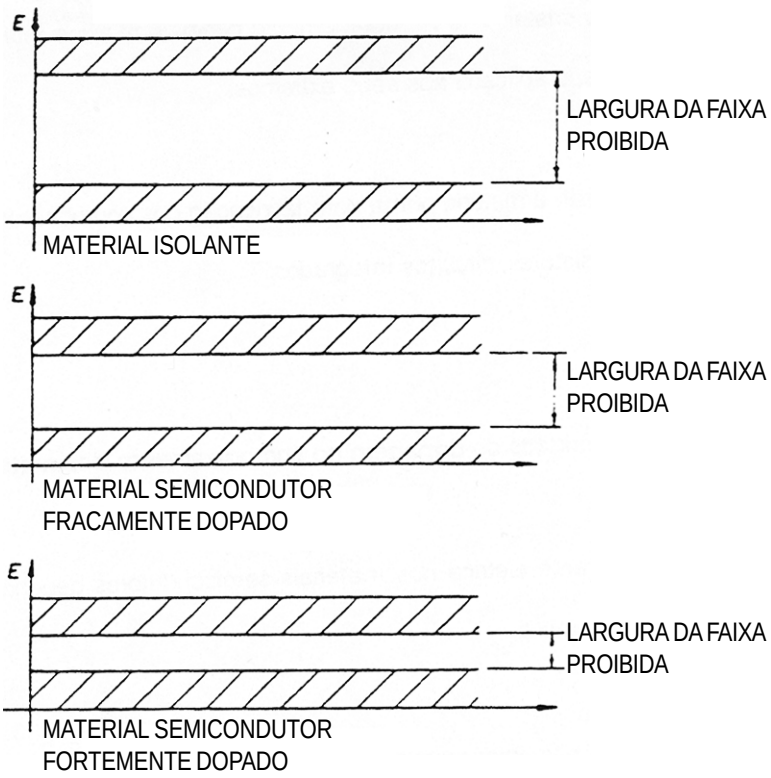
INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DE DOPAGEM NO COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS SEMICONDUTORES

A condução de corrente elétrica nos materiais semicondutores depende dos portadores livres de carga na estrutura química.

Os cristais dopados mais intensamente se caracterizam por apresentar maior condutibilidade, porque sua estrutura apresenta um maior número de portadores livres.



Controlando a quantidade de impurezas introduzidas na estrutura cristalina, a faixa proibida, localizada entre as faixas de valência e condução, pode ser reduzida a uma largura desejada.



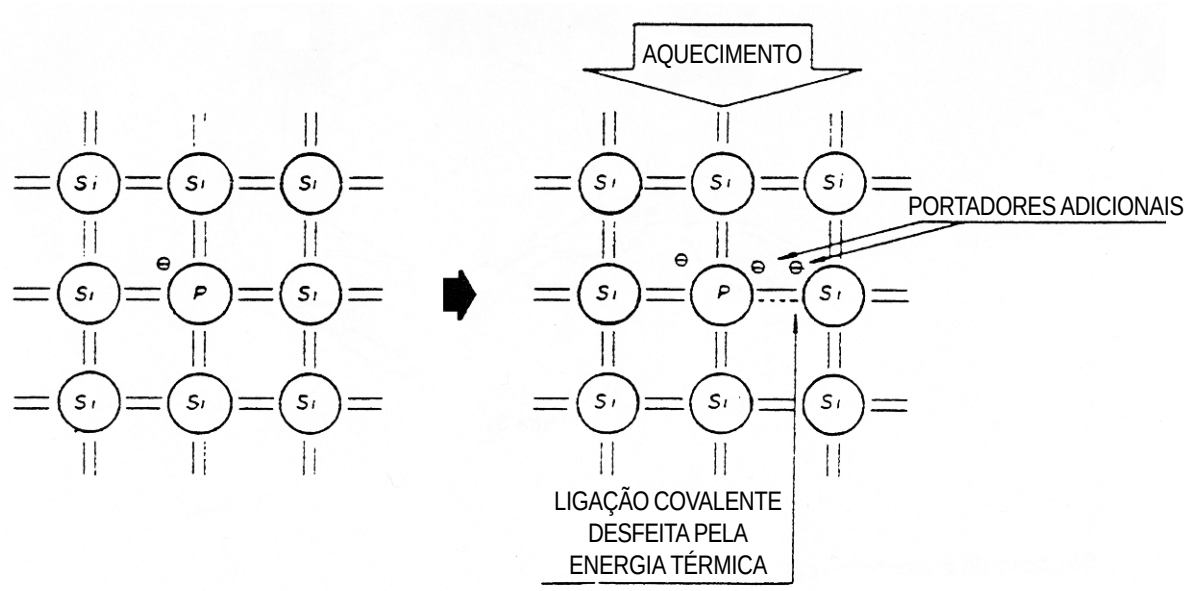
Observando-se a quantidade de energia necessária para tomar os materiais condutores, nos gráficos acima, verifica-se que com o aumento da dopagem o material é levado à condução mais facilmente.

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA CONDUTIBILIDADE DOS MATERIAIS SEMICONDUTORES

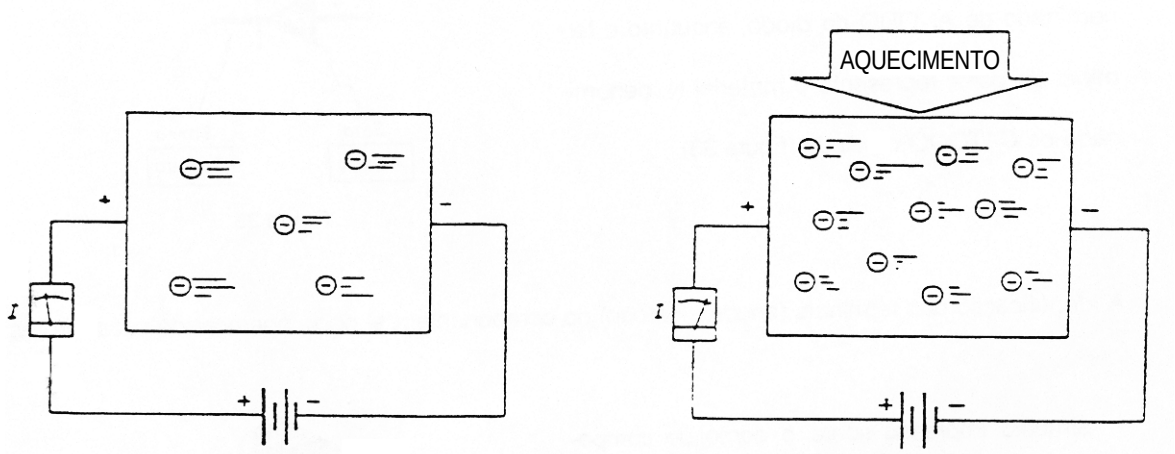
A temperatura exerce influência direta sobre o comportamento dos materiais semicondutores no que diz respeito a condutibilidade elétrica.

Quando a temperatura de um material semicondutor aumenta, a energia térmica adicional faz com que algumas ligações covalentes da estrutura se desfaçam.

Cada ligação covalente que se desfaz pelo acréscimo de temperatura propicia a existência de dois portadores livres de energia a mais na estrutura do cristal.



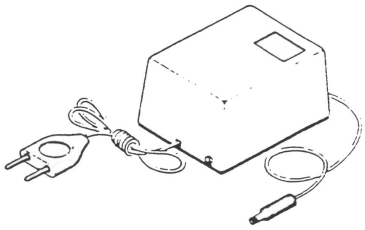
A existência de um número de portadores aumenta a permitindo a circulação de correntes maiores no cristal.



DIODO SEMICONDUTOR

O diodo semicondutor é um componente que apresenta a característica de se comportar como condutor ou isolante elétrico dependendo da forma como a tensão é aplicada aos seus terminais.

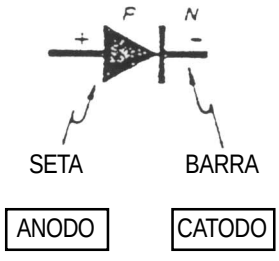
Uma das aplicações do diodo é na de transformação de corrente alternada em corrente contínua utilizada, por exemplo, nos eliminadores de pilhas.



SIMBOLOGIA E ASPECTO REAL

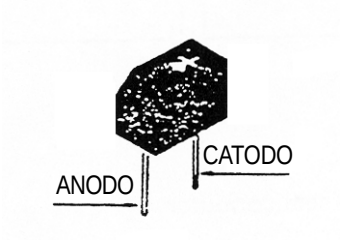
O diodo semicondutor é representado nos esquemas pelo símbolo apresentado na figura.

O terminal da seta representa o material P, denominado de ANODO do diodo, enquanto o terminal da barra representa o material N, denominado de CATODO do diodo.

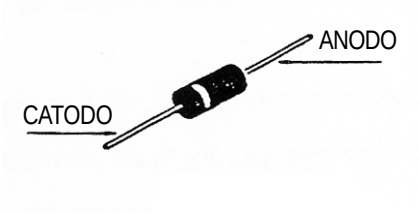


A identificação dos terminais (anodo e catodo) no componente real pode aparecer de duas formas:

- ✓ Símbolo impresso sobre o corpo do componente.



- ✓ Uma barra impressa sobre o corpo do componente, que indica o cátodo.

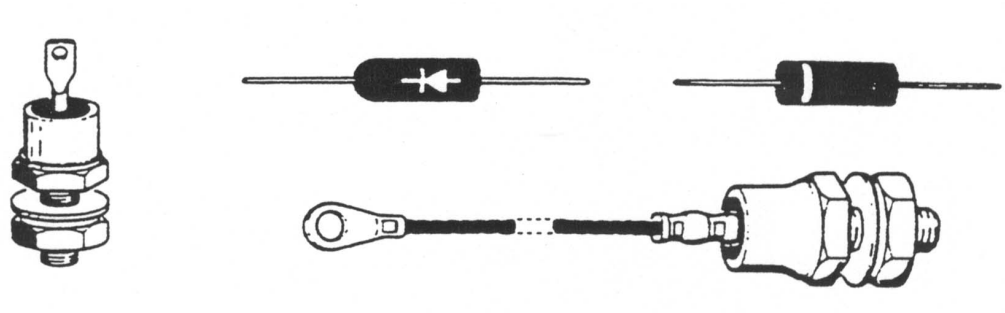


Observa-se que o comportamento de qualquer componente eletrônico fabricado com materiais semicondutores depende diretamente da sua temperatura de trabalho.

Esta dependência é denominada de “DEPENDÊNCIA TÉRMICA”, constituindo um fator importante, e que deve ser considerado quando se projeta ou monta com estes componentes.

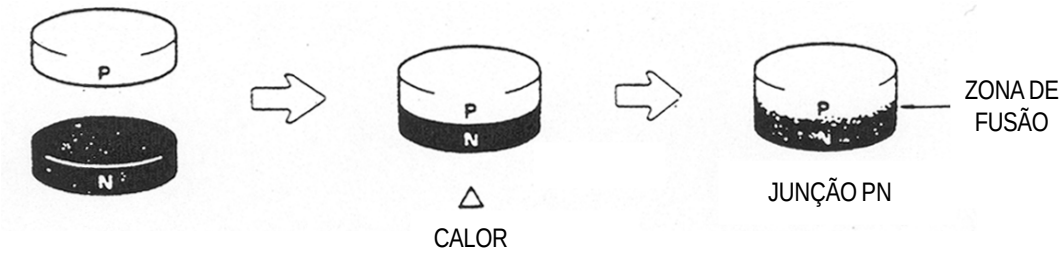
DIODOS ESPECIAIS

A figura abaixo apresenta alguns tipos construtivos de diodos, utilizados em circuitos eletrônicos.



Formação do diodo - Junção PN

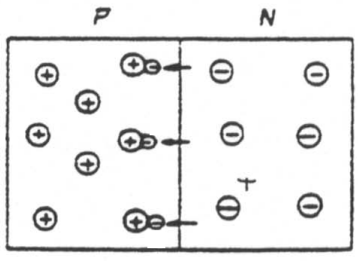
O diodo se constitui na junção de duas pastilhas de material semicondutor: uma de material N e uma de material P.



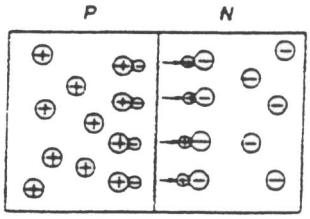
Comportamento dos cristais após a junção

Após a junção das pastilhas que formam o diodo ocorre um processo de “acomodamento” químico entre os cristais.

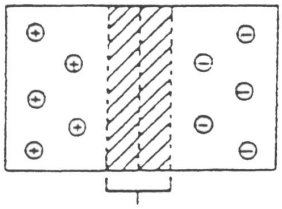
Na região da junção alguns elétrons livres saem do material N e passam para o material P, recombinando-se com as lacunas das proximidades.



O mesmo ocorre com algumas lacunas que passam do material P para o material N e se recombinam com os elétrons livres.



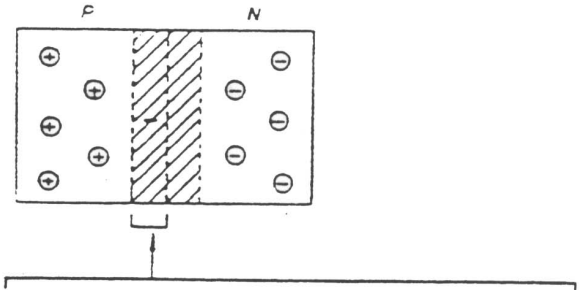
Forma-se na junção uma região onde não existem portadores de carga, porque estão todos recombinados, neutralizando-se. Esta região é denominada região de DEPLEXÃO.



REGIÃO DE DEPLEXÃO - SEM PORTADORES

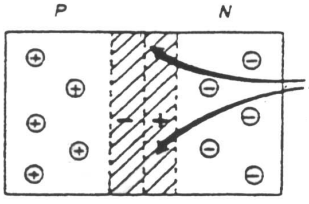
Como consequência de passar as cargas de um cristal para outro cria-se um desequilíbrio elétrico na região de junção.

Os elétrons que se movimentaram do material N para o P geram um pequeno potencial elétrico negativo.



ZONA DE POTENCIAL NEGATIVO GERADO PELOS ELÉTRONS QUE NÃO PERTECIAM AO MATERIAL P

As lacunas que se movimentaram para o material N geram um pequeno potencial elétrico positivo.

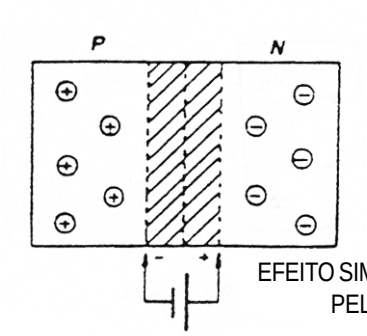


ZONA DE POTENCIAL POSITIVO GERADA PELAS LACUNAS QUE NAÕ PERTECIAM AO MATERIAL N.

Verifica-se que na região da junção existe um diferença de potencial, proporcionada pelo movimento dos portadores de um cristal para o outro.

Este desequilíbrio elétrico é denominado de barreira de potencial.

No funcionamento do diodo esta barreira de potencial se comporta como uma pequena bateria dentro do componente.

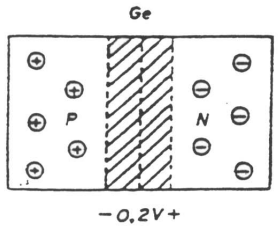


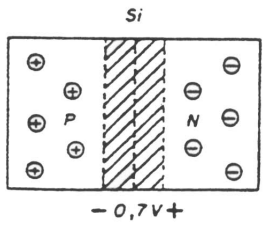
EFEITO SIMILAR A UMA BATERIA PROVOCADO PELA BARREIRA DE POTENCIAL

É importante observar que a barreira de potencial é NEGATIVA NO CRISTAL P e POSITIVA NO CRISTAL N.

A tensão proporcionada pela barreira de potencial no interior do diodo depende do material utilizado na sua fabricação.

Nos diodos de germânio a barreira de potencial tem aproximadamente 0,2 V e nos diodos de silício aproximadamente 0,7 V.





Não é possível medir a tensão da barreira de potencial, aplicando um voltímetro aos terminais de um diodo, porque esta tensão existe apenas internacionalmente no componente.

No todo, o componente continua neutro, uma vez que não foram acrescentadas nem retirados portadores dos cristais.

Aplicação de tensão sobre o diodo

A aplicação de tensão sobre o diodo estabelece a forma como o componente se comporta eletricamente.

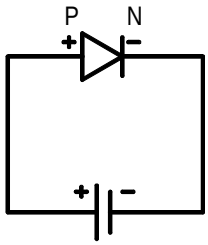
A tensão pode ser aplicada ao diodo de duas formas diferentes, denominadas tecnicamente de:

a) polarização direta

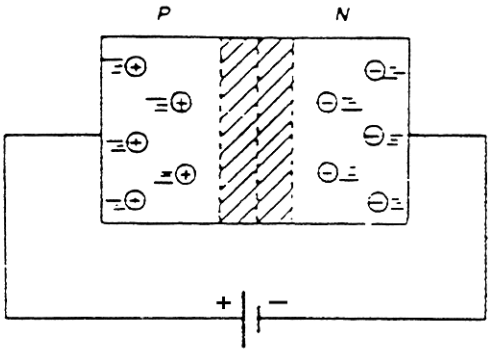
b) polarização inversa

Polarização Direta

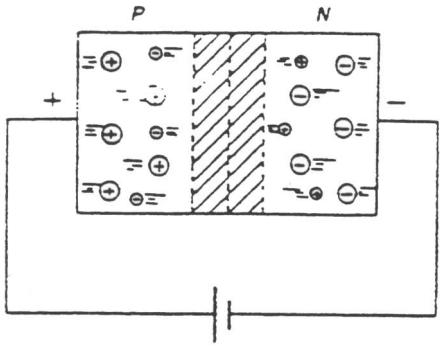
A polarização do diodo é denominada de polarização direta quando a tensão POSITIVA é aplicada ao MATERIAL P e a tensão NEGATIVA ao MATERIAL N.



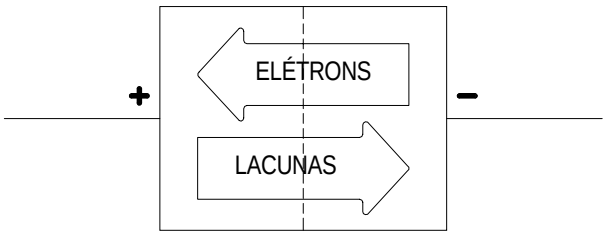
O pólo positivo da fonte repele as lacunas do material P em direção ao pólo negativo, enquanto os elétrons livres são repelidos pelo pólo negativo em direção ao pólo positivo.



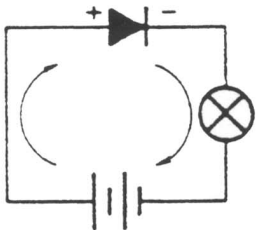
Se a tensão da bateria externa é maior que a tensão da barreira de potencial, as forças de atração e repulsão provocadas pela bateria externa permitem aos portadores adquirir velocidade suficiente para atravessar a região onde há ausência de portadores.



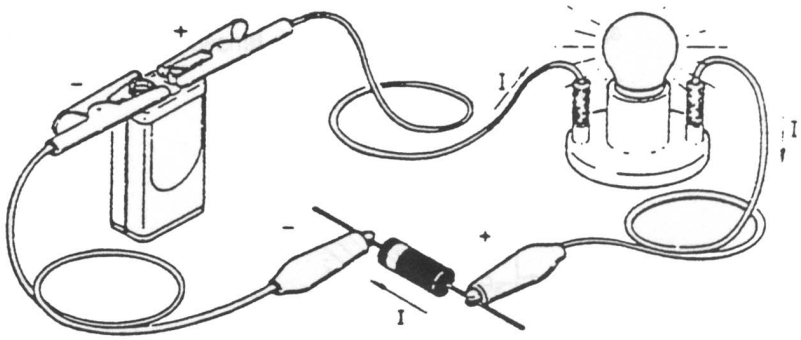
Observa-se que nesta condição existe um fluxo de portadores livres dentro do diodo através da junção.



A polarização direta faz com que o diodo permita a circulação de corrente elétrica no circuito, através do movimento dos portadores livres.



A LÂMPADA LIMITA A CORRENTE NO CIRCUITO

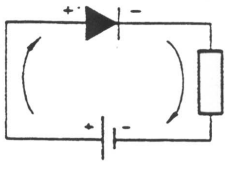


Quando o diodo está polarizado diretamente, conduzindo corrente elétrica, diz-se que:

"O DIODO ESTÁ EM CONDUÇÃO"

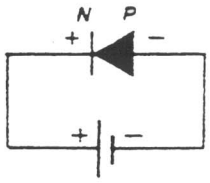
Um diodo semicondutor polarizado diretamente ( ) entra em CONDUÇÃO, permitindo a passagem de corrente elétrica.

É importante observar que a seta do símbolo do diodo indica o sentido de circulação convencional da corrente.

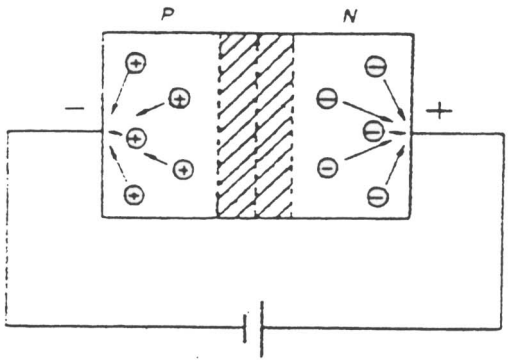


Polarização Inversa

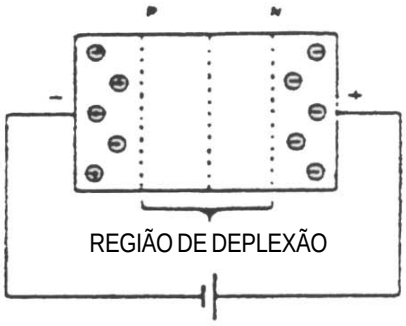
A polarização inversa de um diodo consiste na aplicação de tensão positiva no material N e negativa no material P.



Nesta situação os portadores livres de cada cristal são atraídos pelos potenciais da bateria para os extremos do diodo.



Observa-se que a polarização inversa provoca um alargamento da região de deplexão, porque os portadores são afastados da junção.

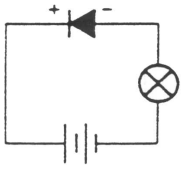


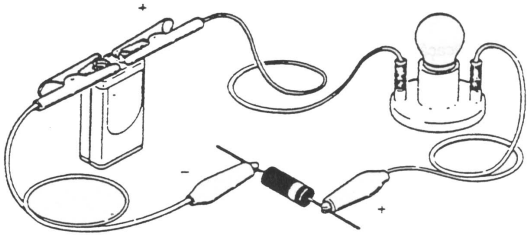
Não existe fluxo de portadores através da junção quando o diodo é polarizado inversamente.

Portanto, conclui-se que a polarização inversa faz com que o diodo impeça a circulação de corrente no circuito elétrico.

Quando o diodo está polarizado inversamente, impedindo a circulação de corrente, diz-se que:

"O DIODO ESTÁ EM BLOQUEIO"





Um diodo semicondutor polarizado inversamente ( ) entra em bloqueio, não permitindo a passagem de corrente elétrica.

FOTODIODOS

Quando um diodo está ligado com polarização em sentido inverso não há corrente elétrica atravessando-o.

Existem, porém, diodos que, mesmo ligados com polarização inversa, quando incide luz sobre eles aparece uma corrente elétrica (que depende da intensidade da luz que está iluminando o diodo).

A corrente elétrica surge devido a alguns portadores de carga da junção que são liberados pela incidência da luz. Por isso, esses componentes são chamados fotodiodos.

Os fotodiodos são utilizados como sensores, podendo indicar uma queda ou um aumento na iluminação de um lugar; ou, ainda, permitir a leitura de códigos de barras e cartões perfurados.

DIODOS EMISSORES DE LUZ (LEDS)

Alguns diodos são feitos com materiais que emitem luz quando há passagem de corrente elétrica por eles. Essa luz é produzida na junção.

Alguns leds emitem luz laranja, outros vermelha ou amarela. A cor da luz é uma característica do led, e depende do material de que o diodo é feito.

Num led vermelho, por exemplo, a barreira de potencial é de 1,8 volts, o que significa que a tensão deve ser no mínimo essa para que o led acenda. No entanto, a tensão máxima que um diodo desse tipo suporta é de 5,0 volts.

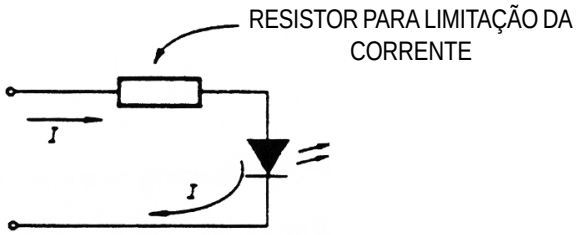
O diodo LED é utilizado principalmente em substituição às lâmpadas incandescentes de sinalização, devido a uma série de vantagens que apresenta, tais como:

- ✓ Baixo consumo
- ✓ Alta resistência a vibrações
- ✓ Nenhum aquecimento
- ✓ Grande durabilidade

A identificação dos terminais anodo e catodo do LED também podem ser feitos com o multímetro, da mesma forma que um diodo comum.

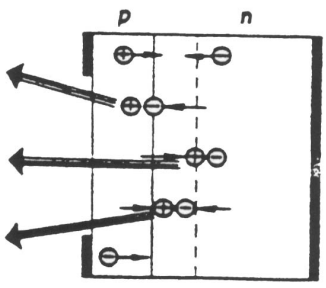
Funcionamento

Quando o diodo LED é polarizado diretamente entra em condução, permitindo a circulação de corrente.



A circulação da corrente se processa pela liberação de portadores livres na estrutura dos cristais.

O deslocamento de portadores da banda de condução provoca a liberação de energia (emissão de fótons) em forma de luz.



CARACTERÍSTICAS DOS DIODOS LED

As características importantes do diodo LED são:

Corrente direta máxima (I_{FM})

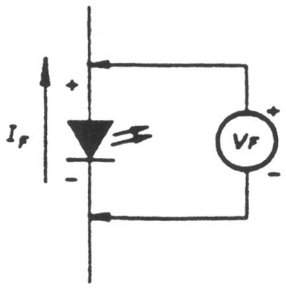
Especificação que define a corrente máxima de condução do diodo LED sem prejuízo para sua estrutura.

Corrente direta nominal (I_F)

E um valor de corrente de condução indicado pelo fabricante no qual o diodo LED apresenta um rendimento luminoso ótimo (normalmente 20 mA).

Tensão direta nominal (V_F)

Especificação que define a queda da tensão típica do diodo no sentido de condução. A queda de tensão nominal (V_F) ocorre no componente quando a corrente direta tem valor nominal (I_F).



Para valores de corrente direta diferentes do valor nominal (I_F) a tensão direta de condução sofre pequenas modificações de valor.

Tensão inversa máxima (V_R)

Especificação que determina o valor de tensão máxima que o diodo LED suporta no sentido inverso sem sofrer ruptura.

A tensão inversa máxima dos diodos LED é pequena (da ordem de 5V) uma vez que estes componentes não têm por finalidade a retificação.

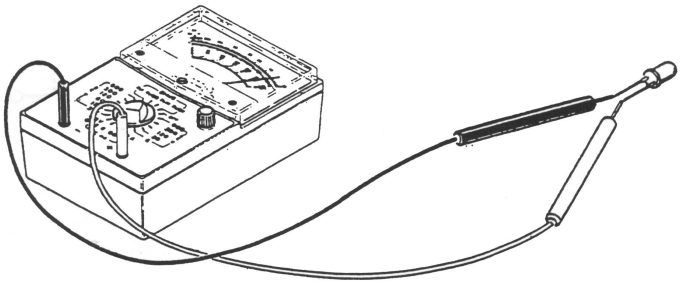
A tabela apresenta as características de alguns diodos LED.

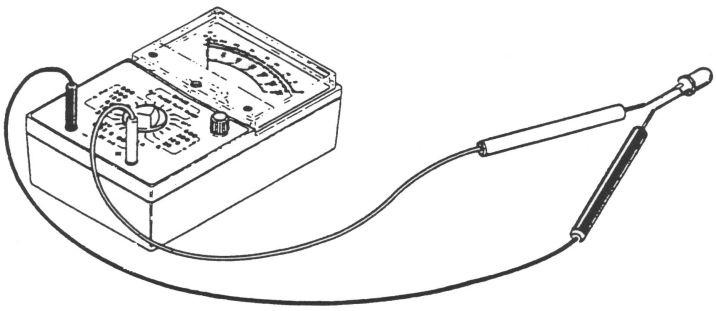
LED	COR	V_F a I_F = 20 mA	I_F máx.
LD 30C	vermelho	1,6 V	100 mA
LD 37 I	verde	2,4 V	60 mA
LD 35 I	amarelo	2,4 V	60 mA

Teste do diodo LED

Os diodos LED podem ser testados como um diodo comum, usando um multímetro na escala de resistência.

Em um sentido o teste deve indicar baixa resistência e, em outro, alta resistência.





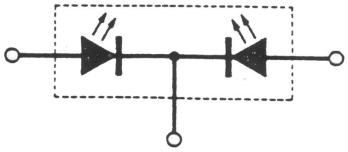
Observação

Em alguns casos, dependendo do multímetro utilizado para o teste, o LED acende durante o teste com polarização direta.

LED bicolor

O LED bicolor consiste, na verdade, de dois LEDs colocados dentro de uma mesma cápsula.

Estes LEDs tem três terminais.

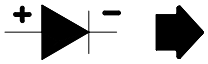


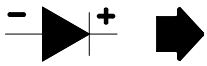
LIGAÇÃO INTERNA

TESTE DE DIODOS SEMICONDUTORES

As condições de funcionamento de um diodo podem ser verificadas pela medição de resistência através do multímetro.

Os testes realizados para determinar as condições de um diodo se resumem a uma verificação da resistência do componente nos sentidos de condução e bloqueio, utilizando a tensão fornecida pelas baterias do ohmímetro.

CONDUÇÃO  BAIXA RESISTÊNCIA INTERNA (ATÉ 500 Ω)

BLOQUEIO  ALTÍSSIMA RESISTÊNCIA INTERNA (VÁRIOS KΩ)

Entretanto, existe um aspecto importante, com relação ao multímetro, que deve ser considerado ao testar componentes semicondutores:

Existem alguns multímetros que, quando usados como ohmímetro têm a polaridade real das pontas de prova invertida com relação a cor. Isto é:

Em alguns multímetros na escala de resistência

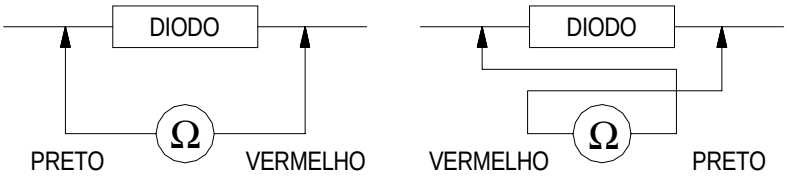
- ✓ ponta de prova preta - positiva
- ✓ ponta de prova vermelha - negativa

Para realizar o teste com segurança deve-se utilizar um multímetro conhecido (cuja polaridade real das pontas de prova seja conhecida) ao consultar o esquema do multímetro para determinar as polaridades reais.

Execução do teste

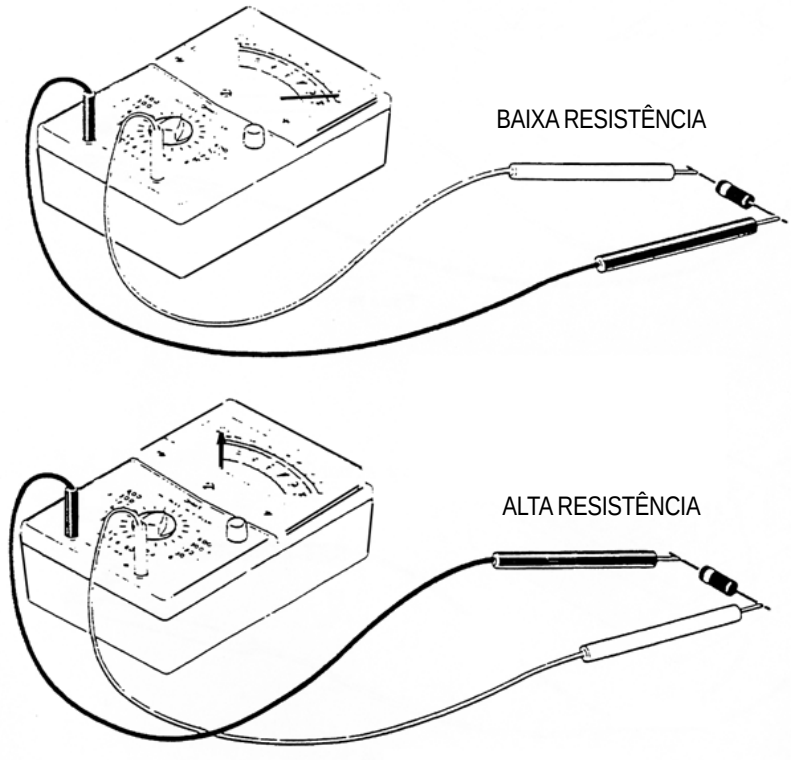
Para determinar se o diodo está defeituoso não é necessário identificar os terminais anodo e cátodo.

Basta apenas colocar as pontas de prova do multiteste sobre o diodo nos dois sentidos possíveis.



Diodo em boas condições

Em uma das medidas o ohmímetro (em escala R x 10) deve indicar baixa resistência e em outra medida alta resistência.



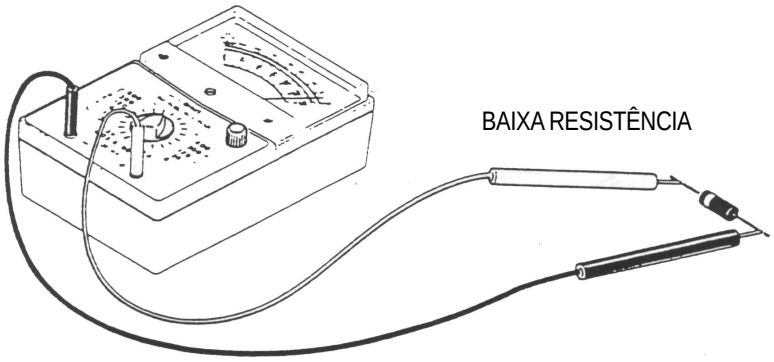
Observação

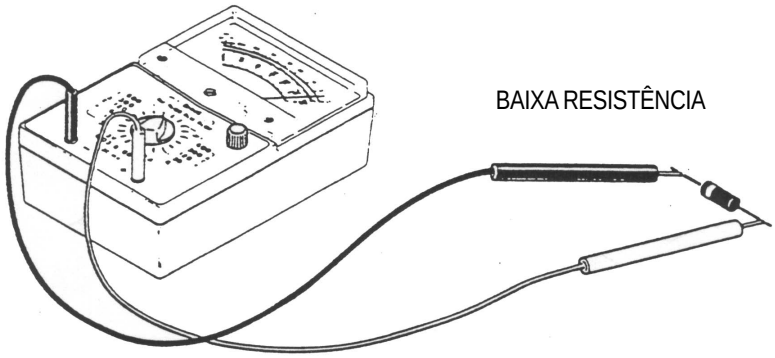
No multímetro usado como ilustração neste material instrucional a polaridade real das pontas de prova é invertida com relação a cor, na escala de medida de resistência.

Diodo em curto

Se as duas leituras indicarem baixa resistência o diodo está em curto, conduzindo corrente elétrica nos dois sentidos.

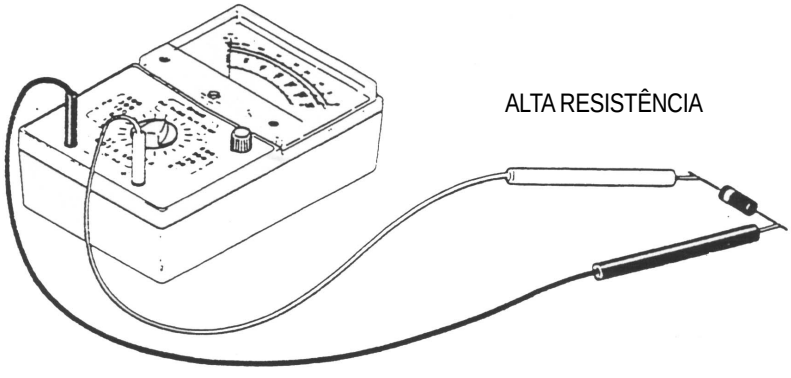
As figuras abaixo mostram as medidas em um diodo em curto.

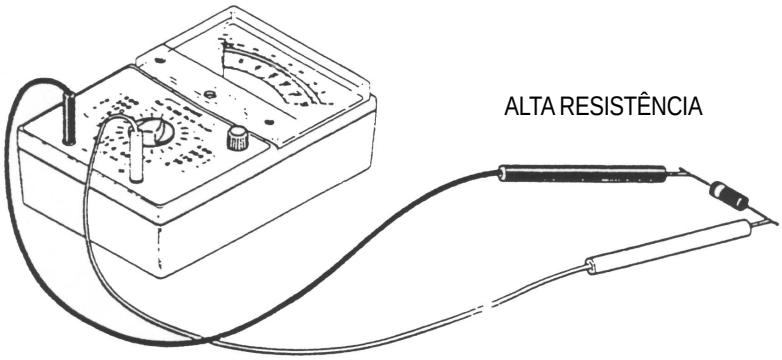




Diodo aberto (Interrompido Eletricamente)

Se as duas leituras indicarem alta resistência o diodo está aberto, bloqueando a passagem de corrente elétrica nos dois sentidos.



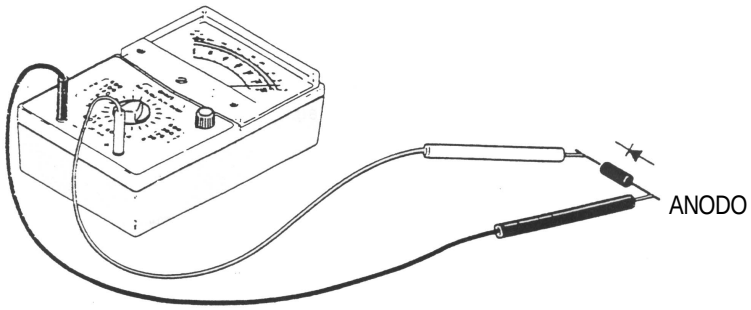


Identificação da Anodo e Catado de um diodo

Em muitas ocasiões a barra de identificação do catado no corpo de um diodo se apaga.

Nestas ocasiões os terminais do diodo poderão ser identificados com auxílio do multímetro.

O diodo conduz (baixa resistência) quando a ponta de prova com a polaridade real positiva é conectada ao anodo.



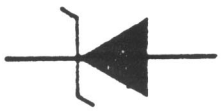
Tornando-se o diodo com identificação apagada testa-se as pontas de prova nas duas posições possíveis. Quando o multímetro indicar baixa resistência o seu anodo estará conectado a ponta de prova com polaridade real positiva.

DIODO ZENER

O diodo zener é um tipo especial de diodo utilizado como regulador de tensão. A sua capacidade de regulação de tensão é empregada principalmente nas fontes de alimentação, visando a obtenção de uma tensão de saída fixa.

O diodo zener é essencialmente um regulador de tensão.

O diodo zener é representado nos diagramas pelo símbolo mostrado na figura abaixo.



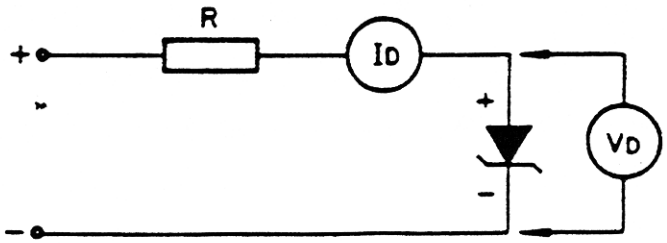
Comportamento do diodo zener

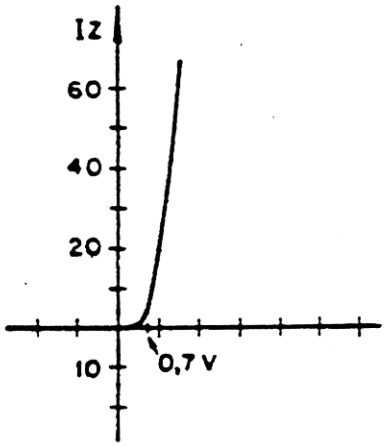
O comportamento do diodo zener depende fundamentalmente da forma como é polarizado.

Polarização direta

Com polarização direta o diodo zener se comporta da mesma forma que um diodo retificador, entrando em condução e assumindo uma queda de tensão típica.

A primeira figura, a seguir, mostra um diodo zener polarizado diretamente e a segunda figura mostra a curva característica de condução.





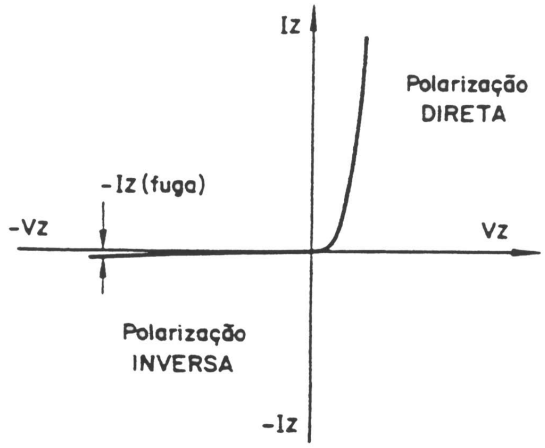
Polarizado diretamente o diodo zener se comporta como um diodo retificador convencional.

Normalmente o diodo zener não é utilizado com polarização direta nos circuitos eletrônicos.

Polarização Inversa

Até um determinado valor de tensão inversa o diodo zener se comporta como um diodo comum, ou seja, ficando em bloqueio.

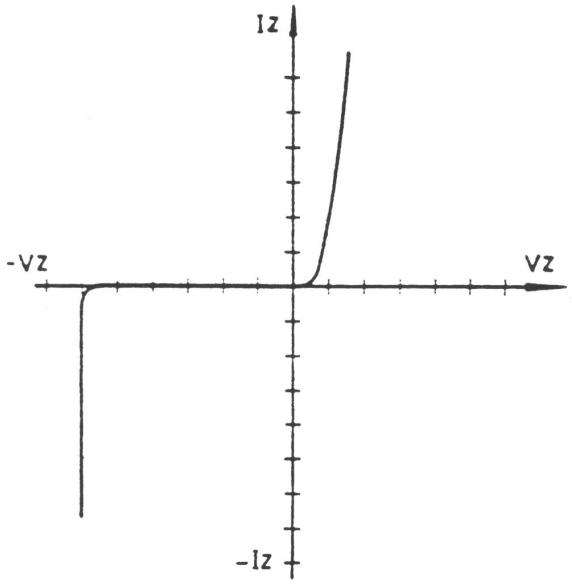
No bloqueio circula no diodo zener uma pequena corrente de fuga, conforme mostra a figura abaixo.



O sinal negativo de I_Z (- I_Z) na figura acima indica que esta corrente circula no sentido inverso pelo diodo.

Em um determinado valor de tensão inversa o diodo zener entra subitamente em condução, apesar de polarizado inversamente.

A corrente inversa aumenta rapidamente e a tensão sobe o zener se mantém praticamente constante.



O valor de tensão inversa que faz com que o diodo zener entre em condução é denominado de TENSÃO ZENER.

Tensão zener (V_Z) é a tensão que aplicada inversamente a um diodo zener provoca a sua condução.

Enquanto houver corrente inversa circulando no diodo zener a tensão sobre seus terminais se mantém praticamente no valor de tensão zener.

O funcionamento típico do diodo zener é com corrente inversa o que estabelece uma tensão fixa sobre seus terminais.

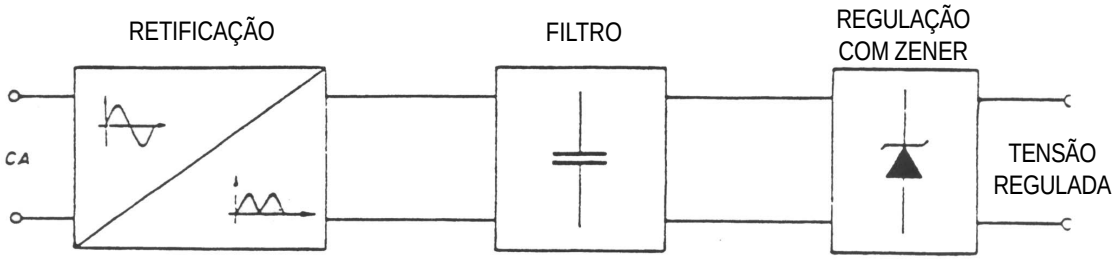
É importante observar que, no sentido reverso, o diodo zener difere do diodo retificador convencional.

Um diodo retificador nunca chega a conduzir intensamente no sentido reverso e se isto acontecer o diodo estará em curto, danificado permanentemente.

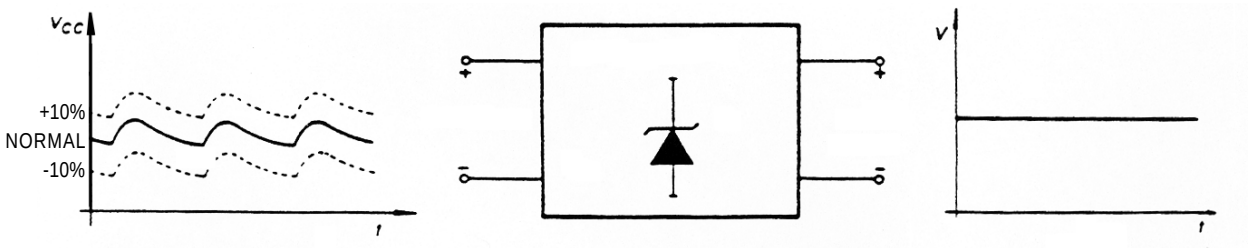
O diodo zener é levado propositalmente a conduzir no sentido reverso, visando obter a tensão zener constante sobre seus terminais, sem que isto danifique o componente.

Uso de um diodo zener em uma fonte de alimentação

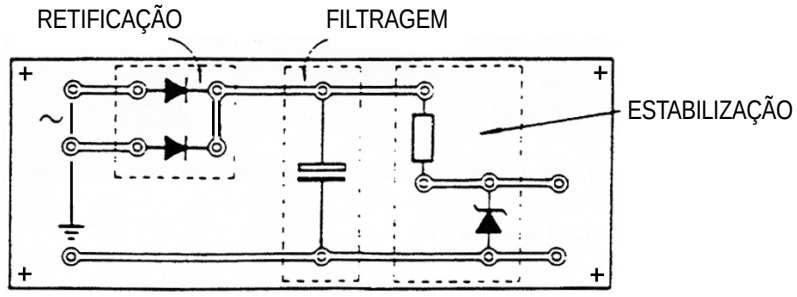
Uma fonte de alimentação com tensão de saída regulada a diodo zener se compõem basicamente dos três blocos apresentados na figura abaixo.



- ✓ A retificação transforma a CA em CC pulsante, podendo ser meia onda ou onda completa.
- ✓ A filtragem aproxima a forma de tensão de saída à CC.
- ✓ A regulação recebe a tensão filtrada, que contêm uma ondulação e que varia em função da carga e da CA de entrada, entregando na saída uma tensão constante.



A figura abaixo mostra o chapeado de uma placa de circuito impresso para uma fonte de CC com tensão de saída regulada à zener, identificando os diodos do circuito.



Observação

Não aparecem no circuito a chave liga-desliga, o fusível, a chave seletora 110 V/220 V e o transformador porque estão fora da placa de circuito impresso.

TRANSISTORES

TRANSISTOR BIPOLAR ESTRUTURA BÁSICA

O transistor bipolar é um componente eletrônico constituído por materiais semi condutores, capaz de atuar como controlador da corrente, o que possibilita o seu uso como amplificador de sinais ou como “interruptor eletrônico’.

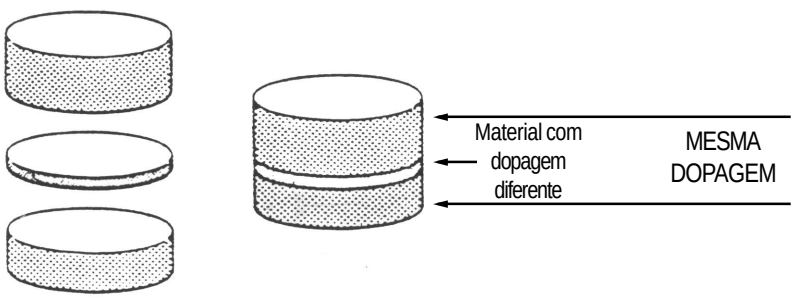
Em qualquer uma das duas funções o transistor encontra ampla aplicação:

- ✓ Amplificador de sinais = equipamentos de som e imagem e controles industriais
- ✓ Interruptor eletrônico = controles industriais, calculadoras e computadores eletrônicos.

O transistor bipolar proporcionou um grande desenvolvimento à eletrônica, devido a sua versatilidade de aplicação, constituindo-se em elemento chave de grande parte dos equipamentos eletrônicos.

Estrutura básica

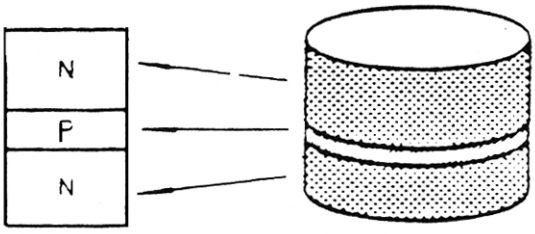
A estrutura básica ao transistor se compõe de duas pastilhas de material semicondutor, de mesmo tipo, entre as quais é colocada uma terceira pastilha, bastante mais fina, de material semicondutor com tipo diferente de dopagem, formando uma configuração semelhante a um sanduíche.



Tipos de transistores

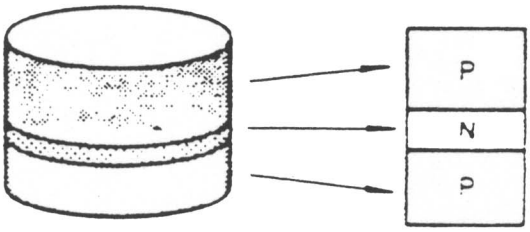
A configuração da estrutura, em forma de sanduíche, permite que se obtenha dois tipos distintos de transistores.

- ✓ Um com pastilhas externas de material N e pastilha central de material P.



Este tipo de transistor é denominado de transistor bipolar NPN.

- ✓ Outro com pastilhas externas de material P e pastilha central de material N, denominado de transistor bipolar PNF.

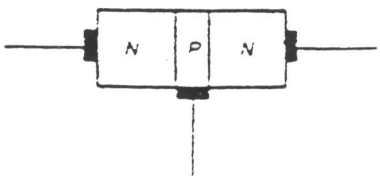


Os dois tipos de transistores podem cumprir as mesmas funções diferindo apenas na forma como as fontes de alimentação são ligadas ao circuito eletrônico.

Existem dois tipos de transistores bipolares: NPN e PNP.

Terminais do transistor

Cada uma das pastilhas formadoras do transistor é conectada a um material que permite a interligacão da estrutura do componente aos circuitos eletrônicos.



Os terminais recebem uma designação que permite distinguir cada uma das pastilhas.

- ✓ A pastilha central é denominada de BASE, representada pela letra B.
- ✓ Uma das pastilhas externas é denominada de COLETOR, representada pela letra C.
- ✓ A outra pastilha externa é denominada de Emissor, representada pela letra E.

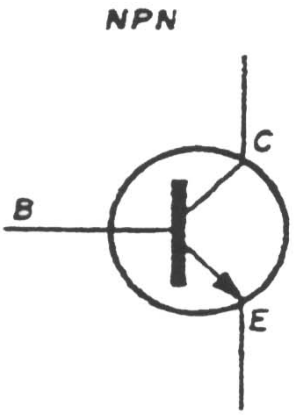
A figura abaixo apresenta os dois tipos de transistores, com a identificação, dos terminais.

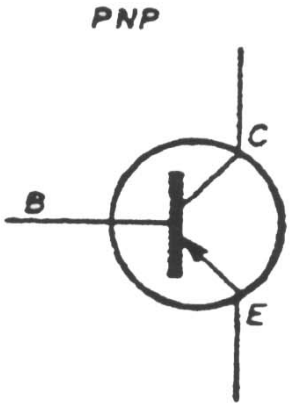
O transistor possui três terminais: coletor, base e emissor

Embora as pastilhas do coletor e do emissor tenham o mesmo tipo de material semi-condutor, não é possível trocar as ligações de um terminal com o outro nos circuitos eletrônicos, porque existe diferença de volume de material semicondutor e de intensidade de dopagem ente as pastilhas.

Simbologia

A figura abaixo apresenta o símbolo dos transistores NPN e PNP, indicando a designação dos terminais.





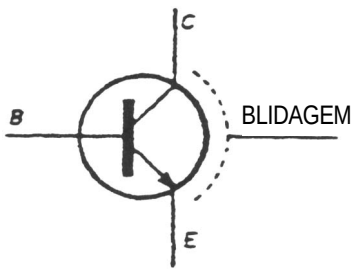
A diferença entre os símbolos dos dois transistores é apenas o sentido da seta no terminal "emissor".

Alguns transistores, fabricados para aplicações especificadas, são dotados de blindagem.

Esta blindagem consiste em um invólucro metálico ao redor das pastilhas semicondutoras, que tem por finalidade evitar que o funcionamento do transistor seja afetado por campos elétricos ou magnéticos do ambiente.

Estes transistores apresentam um quarto terminal ligado à blindagem, para que esta possa ser ligada ao terra do circuito eletrônico.

O símbolo destes transistores mostra a existência do quarto terminal.



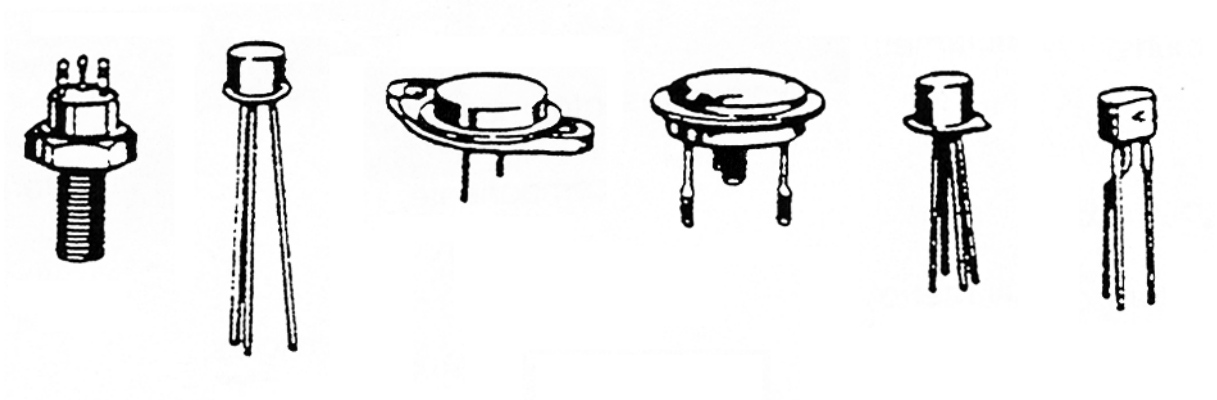
Aspecto real dos transistores

Os transistores podem se apresentar nos mais diversos formatos (encapsulados).

Os seus formatos geralmente variam em função:

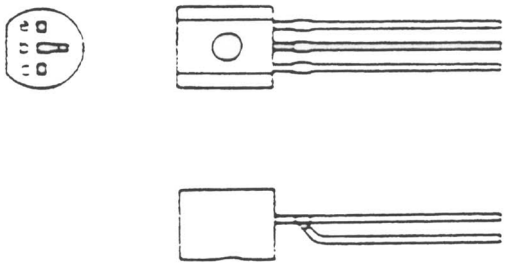
- ✓ do fabricante
- ✓ da função da montagem
- ✓ do tipo de montagem
- ✓ da capacidade de dissipar calor

A figura abaixo apresenta alguns tipos construtivos de transistores.



Por esta razão, a identificação dos terminais do transistor deve sempre ser feita com auxílio de um manual de transistores ou folheto técnico específico do fabricante ao transistor.

A figura abaixo é parte de um folheto técnico de um transistor, mostrando a posição dos seus terminais.



TESTE DE TRANSISTORES

Existem equipamentos destinados especificamente ao teste de transistores, que fazem os mais diversos testes no componente.

Entretanto, pode-se realizar um teste nos transistores, usando um multímetro, que permite detectar os seus defeitos mais comuns.

Da mesma forma que em um diodo, o teste nos transistores com multímetro não é definitivo. Um diodo pode passar no teste com o multímetro e mesmo assim apresentar fuga quando funcionando com tensões elevadas.

O teste com o multímetro detecta apenas os defeitos mais comuns nos transistores e diodos:

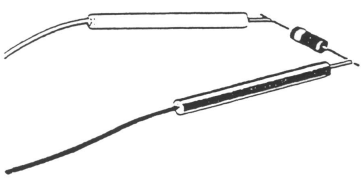
- ✓ curto em uma junção PN
- ✓ abertura de uma junção P

Relembrando o teste dos diodos

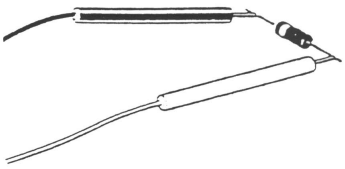
Para testar um diodo com o multímetro primeiro realiza-se a identificação da polaridade real das pontas de prova do multímetro.

Apos a identificação da polaridade das pontas de prova se realiza o teste do diodo.

BAIXA RESISTÊNCIA



ALTA RESISTÊNCIA

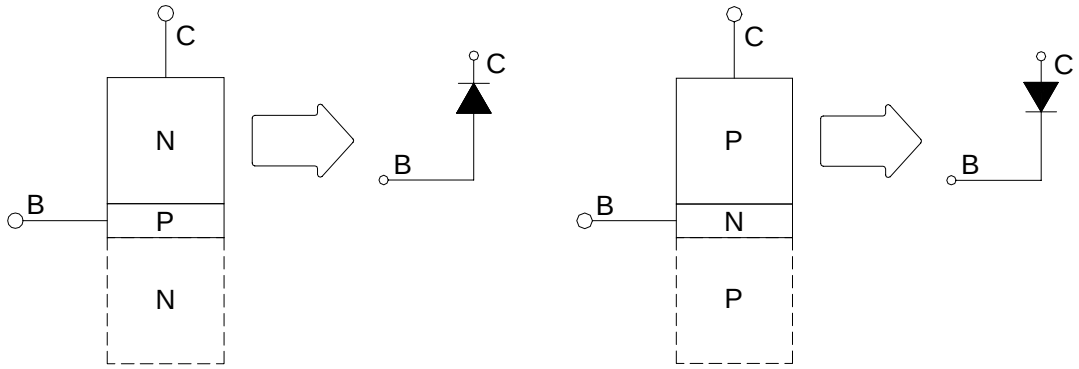


Se a junção PN (diodo) em teste estiver em curto ou aberta as leituras indicarão.

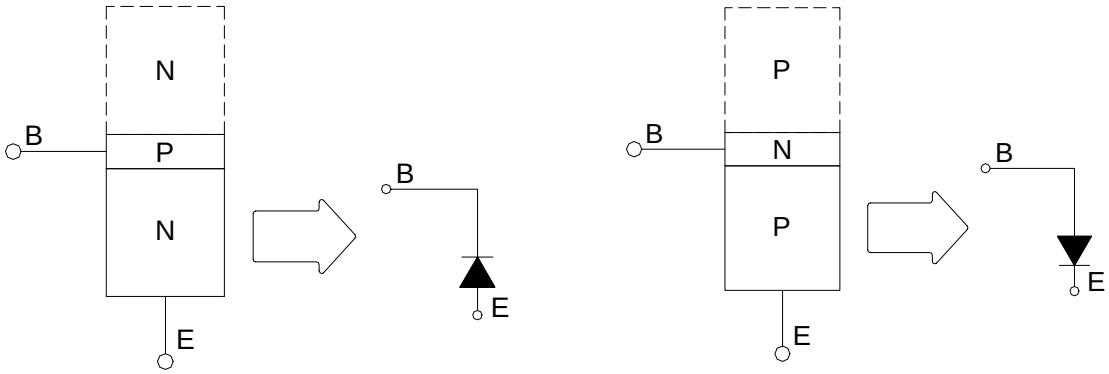
Uma junção PN em curto ou aberta pode ser detectada usando-se um multímetro.

Teste entre os terminais de um transistor

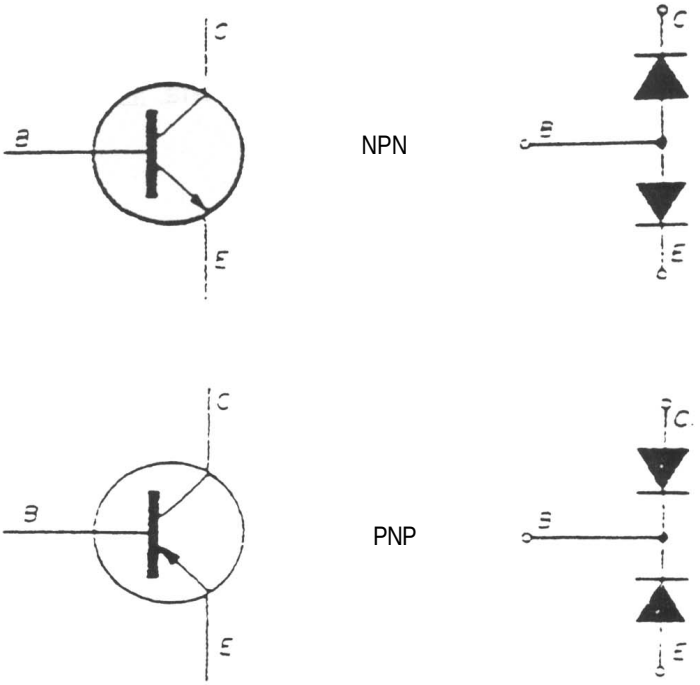
Analisando-se a estrutura dos transistores observa-se que entre a base e o coletor forma-se uma junção PN que para fins de teste pode ser tratada como um diodo.



Da mesma forma, entre a base e emissor torna-se outra junção PN, que para fins de teste pode ser tratada como diodo.



Desta forma verifica-se que o transistor para fins de teste com o multímetro pode ser tratado como dois diodos ligados em oposição.



- ✓ Entre base coletor de um transistor existe uma junção PN que pode ser testada da mesma forma que um diodo.

- ✓ Entre base e emissor de um transistor existe uma junção PN que pode ser testada da mesma forma que um diodo.

A partir desta conclusão pode-se afirmar:

- ✓ Testar um transistor e verificar se existe curto circuito ou abertura entre cada par de terminais (BC.BE.CE).

Teste das junções base-coletor e base emissor

Através deste teste pode-se verificar se há curto circuito ou abertura das junções PN entre base emissor e base coletor.

Observação

A polaridade apresenta nas pontas de prova das figuras que seguem corresponde a sua polaridade real. (Ponta de prova preta - - ponta de prova vermelha (+ +)).